UNTERSUCHUNGEN ZUR ADAPTATION UND ZUM TINNITUS BEI NORMALEM UND PATHOLOGISCHEM GEHÖR

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt von
Ursula Korff
aus Solingen

Bonn 1980

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546505_0036

UNTERSUCHUNGEN ZUR ADAPTATION UND ZUM TINNITUS BEI NORMALEM UND PATHOLOGISCHEM GEHÖR

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt von
URSULA KORFF
aus Solingen

Bonn 1980

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Angefertigt mit Genehmigung

der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof.Dr. H.J. Opitz

2. Gutachter: Priv.Doz.Dr. D. Linke

Aus der Hals-Nasen-Ohren Klinik der Universität Bonn
Direktor: Prof.Dr.med. W. Becker

Druck: Fotodruckerei Mainz, Aachen

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	5
2. Physiologische Aspekte zur Adaptation und zum Tinnitus	7
3. Psychoakustische Untersuchungen zur Adaptation	11
4. Versuchsaufbau für die Adaptationsmessung	17
4.1. Meßapparatur und Versuchsanordnung	17
4.1.1. Erstellung, Analyse und Eichung der Verdeckungsschalle	17
4.1.2. Schaltung der Apparate	25
4.1.3. Auswertungsschema der Meßergebnisse	26
4.2. Versuchsdurchführung	27
4.2.1. Ausführung der Versuche zur Adaptation	30
5. Vorversuche	31
6. Versuchsergebnisse	33
6.1. Normalhörende Probanden	33
6.2. Probanden mit Innenohrschwerhörigkeit vom basochochleären Typ	34
6.3. Probanden mit Innenohrschwerhörigkeit vom pancochleären Typ	36
6.4. Probanden mit Innenohrschwerhörigkeit vom apicochochleären Typ	39
7. Diskussion	41
7.1. Vergleich der Untersuchungen an normalhörenden und hörgeschädigten Probanden	41
7.2. Vergleich der Ergebnisse mit Untersuchungen in der Literatur	51
8. Bisherige Untersuchungen zum Tinnitus	52
9. Versuchsanordnung und Auswertungsschema der Meßergebnisse	57

Seite

10. Versuchsdurchführung 58
11. Vorversuch 60
12. Versuchsergebnisse 62
    12.1. Normalhörende Probanden 62
    12.2. Patienten mit Innenohrschwerhörigkeit vom basocochleären Typ 63
    12.3. Patienten mit Innenohrschwerhörigkeit vom apicocochleären Typ 66
13. Diskussion 69
    13.1. Vergleich der Untersuchungen an Normalhörenden und Hörgeschädigten 69
    13.2. Vergleich unserer Untersuchungen mit den Ergebnissen in der Literatur 75
14. Zusammenfassung 77
15. Literaturverzeichnis 79

1. Einleitung

Das Hörorgan ist eines der wichtigsten Organe des Menschen zur Kommunikation mit der Umwelt. Es arbeitet nicht isoliert, sondern ist integriert ins Gesamtsensorium. Der adäquate Reiz für das Hörorgan sind Schallwellen. Die Dimensionen der akustischen Information sind Frequenz, Intensität und Zeit. Nicht jeder Reiz wird wahrgenommen, sondern eine Hörempfindung wird nur ausgelöst, wenn der Reinz in dem Frequenz- und Lautstärkebereich liegt, für den entsprechende Rezeptoren bestehen, wobei die Hörempfindung zu definieren ist als die bewußte Wahrnehmung eines Schallereignisses.

Der Mensch der Industriegesellschaft ist häufig Lärm hoher Lautstärkeintensitäten ausgesetzt. Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Verhalten des Hörorgans nach länger anhaltender Belastung mit lautem Störschall. Um der normalen Hörsituation möglichst nahe zu kommen, wurden für die Untersuchungen Geräusche aus der Umwelt benutzt.

Zunächst werden Adaptations-Phänomene untersucht. Adaptation kann grob definiert werden als Änderung der Hörschwelle durch Beschallung mit Reizen langer Dauer und hoher Intensität. Das Hörsystem wird an einen anderen Absolutbereich seiner Empfindlichkeit angepaßt (KEIDEL, 1961).

Die Untersuchungen zur Adaptation werden an Normalhörenden und schallempfindungsschwerhörigen Probanden durchgeführt. Schalleitungsschwerhörige werden nicht untersucht, da ihr Adaptationsverhalten ganz ähnlich dem Normalhörender, nur entsprechend dem Hörverlust zu höheren Intensitäten verschoben ist (GARDNER,1947).

Als zweites in diesen Untersuchungen auftretendes Phänomen wird der Tinnitus untersucht.
Unter Tinnitus versteht man eine Hörempfindung ohne äußere erkennbare Schallquelle; das Ohr wird hier also nicht durch den ihm adäquaten Reiz - die Schallwelle - erregt, sondern im Organismus selbst entstandene Reize führen zur Hörwahrnehmung.
Man unterscheidet den ständig wahrgenommenen und den durch laute Geräusche provozierten Tinnitus. Der ständig wahrgenommene

Tinnitus ist meist an Schwerhörigkeiten gebunden, was HELLER (1953) dadurch erklärt, daß der Tinnitus bei Normalhörenden nicht hörbar ist ("subaudible"), da er durch unseren Umgebungslärm verdeckt wird. Auf den ständig vorhandenen Tinnitus wird hier nicht näher eingegangen. Die Arbeit beschäftigt sich mit der Wirkung von Schallen hoher Intensität auf das Hörorgan: folglich wird hier nur der provozierte Tinnitus untersucht.

An den Untersuchungen nahmen normalhörende und schwerhörige Probanden teil.

2. Physiologische Aspekte zur Adaptation und zum Tinnitus

Durch die Adaptation wird für die gerade vorhandene Adaptationsreizstärke die optimale Unterscheidungsempfindlichkeit eingestellt.

Über die Lokalisation der Vorgänge bei der Adaptation bestehen unterschiedliche Ansichten. KUPPERMANN (1974) beschreibt die Adaptation als ein vorwiegend zentrales Phänomen, denn die Beziehung zwischen Lautstärkeintensität eines Reizes und Summenaktionspotential der Cochlea ist bei von den zentralen Bahnen isolierter Cochlea linear. Bei Verbindung der Cochlea mit höher gelegenen Strukturen nimmt die Kurve, die die Beziehung zwischen Intensität und Aktionspotentialen darstellt, zu höheren Intensitäten einen flacheren Verlauf. Bei höheren Intensitäten ist die Cochlea unter Kontrolle eines neuralen feedback-Systems. Diese Kontrolle kommt über die ungekreuzten efferenten Fasern des olivocochleären Bündels zustande.
Auch BYSTRZANOWSKA et al. (1971) und COATS und DICKEY (1972) beschreiben in ihren Arbeiten die Adaptation als ein zentrales Phänomen.
KEIDEL et al. (1961) zeigten durch Versuche mit Strychnin, daß die Adaptation zwar hauptsächlich zwischen Haarzellen und Aktionspotential des Hörnerven stattfindet, aber auch auf höheren Ebenen Adaptationsvorgänge möglich sind.

LÜSCHER und ZWISLOCKI (1949) beschreiben in einer Arbeit über die Adaptation des Ohres auf Geräuschstimuli die Adaptation als ein monaurales und damit peripheres Phänomen.
In Untersuchungen am intakten Cortiorgan der Katze leiteten GALAMBOS et al. (1959) mit Hilfe von Mikroelektroden Potentiale von einzelnen Nervenfasern ab. Kurz nach Beginn des Stimulus, besonders während der ersten 20 - 100 msec kam es zu einem beträchtlichen Abfall der Rate und Amplitude der Potentiale, woraus auf eine periphere Genese der Adaptation im Cortischen Organ geschlossen wird.

Der cochleäre Adaptationsmechanismus ist nach SPOOR und EGGERMONT (1974) in der Haarzell-Neuron-Synapse lokalisiert. Ein Modell

für die mechanisch-neurale Transformation im Hörrezeptor wird beschrieben. Sie kommt zustande durch eine ständige Ausschüttung und Regenerierung von Transmitterquanten in die Haarzell-Neuron-Synapse. Die Ausschüttungsrate des Transmitters ist von der Intensität des Stimulus abhängig. Die Anzahl der für den Transmitter freien Rezeptorplätze determiniert die Erregbarkeit des ersten Neurons der Hörbahn.

GARDNER (1947) definiert die Ermüdung als Fortdauer der Verdeckung; sie wird im Innenohr durch einen Ermüdungston, der ein bestimmtes Hörmuster (auditory pattern) erzeugt, hervorgerufen. Bei Abschaltung des Ermüdungstons bedingt das Hörmuster ein Ermüdungsmuster (fatigue pattern), das sich schnell auflöst. Die Stärke und Breite dieses Ermüdungsmusters bestimmt die Region, über der die Sinneszellen des Hörorgans nicht fähig sind, auf eine zweite Stimulation zu antworten.

FRASER et al. (1970) beschreiben, daß bei kontinuierlicher Reizung die neurale Reizantwort bis zu ca. 3 min schnell abnimmt. Die Cochlearmikrofonpotentiale (CM) hingegen zeigen keine Reduktion, woraus auf eine rein neurale Adaptation zu schließen ist. Die neurale Aktivität erreicht nach Beendigung der Beschallung schnell wieder ihren Ausgangswert. Bei längerer Beschallung zeigt sich eine Verminderung des Bestandstromes, was durch eine Einflußnahme des Sinneszellstoffwechsels erklärt werden kann.

RANKE sieht die Ursache für die Adaptation weder als Folge der Informationsleitung und Erregungsverarbeitung im Nerven noch als Effekt der zentralen Verarbeitung; sie liegt in der Sinneszelle selbst, und zwar in ihrem Stoffwechsel (KEIDEL, 1961). OPITZ (1973) berichtet über die Abhängigkeit der CM-Potentiale und der Aktionspotentiale von der Sauerstoffspannung, die bei kontinuierlicher Stimulation abnimmt.

Zumindest ein Teil der Adaptationsvorgänge findet bereits in der Peripherie statt; so läßt sicht bei repetitiver Reizung mit Klicks zeigen, daß die Amplitude des Nervenaktionspotentials gegenüber dem Einzelreiz abnimmt (KUPPERMANN, 1971). Bei Dauertonreizung läßt sich eine Abnahme der Entladungsintensität einer Nervenfaser feststellen. KEIDEL (1975) beschreibt die Adaptation

als ein Proportional-Differentialverhalten; sie zeigt sich nicht in einem Verlust an Erregbarkeit, sondern sie ist eine Anpassung des Erregungsniveaus an die jeweils länger vorherrschende mittlere Reizintensität.
Laut KEIDEL (1961) nimmt die Intensitätsempfindlichkeit der äußeren Haarzellen ab und das Diskriminationsvermögen steigt. So wird das Hörsystem an einen anderen Absolutbereich seiner Empfindlichkeit angepaßt.

Hypothesen über den Mechanismus der Adaptation stellen NORIS, GUTH und DAIGNEAULT (1977) auf:

a) Vorübergehende Ermüdung der für die Transmittersynthese oder andere metabolische Vorgänge erforderlichen Prozesse.
b) Ausschöpfung des recht kleinen Transmitterpools.
c) Ein Transmitter aktiviert nicht die afferenten Dendriten, sondern verursacht eine Hemmung auf der Haarzellseite der Verbindung.
d) Der postsynaptische Rezeptor ist teilweise nicht reizbar durch den Transmitter.
e) Die Dendriten bleiben depolarisiert und damit ohne Antwort auf antreffende Stimuli.

Bei der Durchsicht der Literatur fiel eine unterschiedlich klare Trennung der Adaptation von der Ermüdung auf. SCHAEFER (1959) konnte aufgrund seiner Messungen eine Grenzlinie zwischen normaler Readaptation und Ermüdung ziehen, wonach zum Beispiel eine Belastung mit 80 dB über 100 sec knapp unter der Ermüdungsgrenze liegt (Abb. 1).

Die entscheidenden Größen für Adaptation und Ermüdung sind Zeitdauer und Intensität des Stimulus (STEVENS, DAVIS 1960; KIANG et al., 1965).

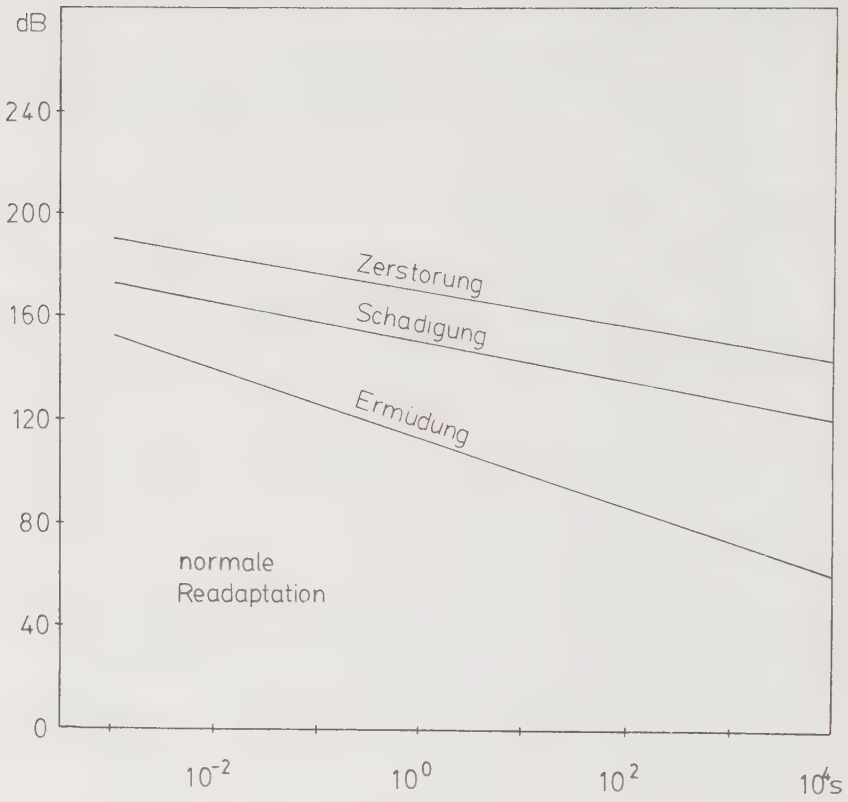

Abb. 1: Grenzbelastungen des Ohres aus: SCHAEFER, E.(1959), Der Abklingungsvorgang des Ohres nach Geräuschbelastung

3. Psychoakustische Untersuchungen zur Adaptation

Zur vollständigen Erfassung des Vorgangs der Adaptation reichen elektrophysiologische Untersuchungen nicht aus, daher finden sich in der Literatur zahlreiche Beschreibungen psychoakustischer Messungen.

Bei einer Tonbeschallung mit Frequenzen von 270 Hz bis 7000 Hz wurde eine Änderung der Tonhöhenempfindung bei bis zu 90 % der Probanden festgestellt, wenn die Hörschwellenabwanderung größer als 25 dB war. Die Änderung der Tonhöhenempfindlichkeit (pitch change) des Testtones bewegte sich bei Beschallung mit Tönen oberhalb von 4000 Hz zu niedrigeren Frequenzen, bei Beschallung mit Tönen unterhalb von 4000 Hz zu höheren Frequenzen (HOOD, 1950).

Bei Beschallung mit gleichmäßig verdeckendem Rauschen (GVR) liegt die temporäre Schwellenabwanderung hauptsächlich um 4000 Hz (SCHAEFER, 1959).

Die die temporäre Schwellenabwanderung bestimmenden Parameter sind:

"a) Die Zeit zwischen Ende des Stimulus und dem Zeitpunkt der Bestimmung der abgewanderten Schwelle,
b) die Intensität des verdeckenden Schalles,
c) die Dauer der Exposition,
d) die Frequenz des Ermüdungsschalles,
e) die Testfrequenz, bei der die Schwellenabwanderung gemessen wird." (ELLIOT und FRASER, 1970).

Bei hohen Intensitäten und langer Einwirkungsdauer liegt die maximale temporäre Hörschwellenabwanderung 1/2 bis 1 Oktave oberhalb der Stimulusfrequenz (DAVIS, 1957).

Die temporäre Hörschwellenabwanderung wächst mit der Intensität des einwirkenden Schalles, sie erstreckt sich mit ansteigender Intensität über ein breiteres Frequenzgebiet (HOOD, 1950; LEHNHARDT, 1966; MEYER ZUM GOTTESBERGE, 1956).

BENTZEN (1953) und HOOD (1950) beschreiben Untersuchungen über den Adaptationseffekt auf die Nachbarfrequenzen des belastenden

Schalles. Bei niedrigen Belastungsschallintensitäten ist die temporäre Schwellenabwanderung (TTS) bei den oberhalb des Störschalls liegenden Frequenzen besonders stark, was sich in einer Asymmetrie der Adaptationskurven zeigt (Abb. 2).

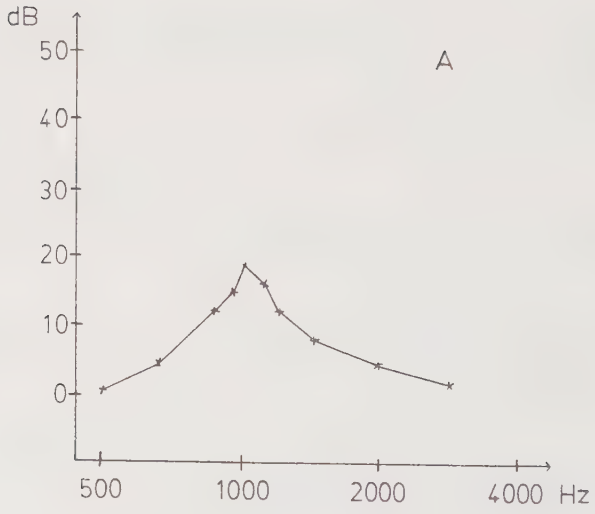

Abb. 2a: Adaptation 0,5 sec nach Beschallung mit einem 1000 Hz-Ton von 80 dB (nach BENTZEN, 1953)

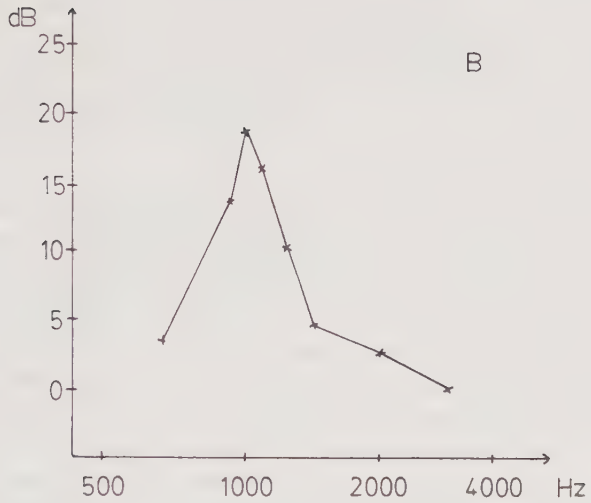

Abb. 2b: Adaptation 2 sec nach Beschallung mit einem 1000 Hz-Ton von 80 dB (nach BENTZEN, 1953)

Verschiedene Autoren berichten in ihren Untersuchungen zur Adaptation und Ermüdung über das Auftreten von Tinnitus in Zusammenhang mit einer temporären Schwellenabwanderung (BERGER, 1960; ELLIOT und FRASER, 1970; HINCHLIFFE, 1957; WARD, 1965). Die Tinnitusfrequenz liegt nach diesen Beobachtungen 1/2 bis 1 Oktave über der Frequenz der maximalen Schwellenabwanderung. Schwerhörigkeiten sind häufig mit einem Tinnitus verbunden, der ohne vorherige Geräuschbelastung auftritt. 70,9 % der Schallempfindungsschwerhörigen, 65 % der Schalleitungsschwerhörigen, 87,5 % der Patienten mit kombinierter Schwerhörigkeit leiden unter diesem Tinnitus.

Über die Pathogenese des Tinnitus bestehen unterschiedliche Hypothesen.

Tinnitus wird hervorgerufen durch Bedingungen, die die Erregbarkeit der Cochlea steigern, wie z.B. Irritation durch Lärm oder ständigen mechanischen Druck, wodurch eine Ablenkung der membrana tectoria hervorgerufen wird (REED, 1960).
Tinnitus ist zu verstehen als eine über das Maß der normalen Spontanaktivität hinausgehende Spontanerregung, die als Hyperirritation, krankhafte Hyperaktivität usw. von Haarzellen und neuralen Elementen gesehen wird (OPITZ, 1973).

Auf Beschallung des Ohres mit einem 2000 Hz-Ton von 60 - 90 dB fand HOOD (1950) nach 10 sec eine Verschiebung der Hörschwelle bei derselben Frequenz um 7 - 9 dB. HOOD untersuchte außerdem den Einfluß der Stimulusdauer auf die Stärke der Adaptation an unterschiedlichen Versuchspersonen und fand, daß zwischen Stimulusdauer und dem Ausmaß der 10 sec nach Stimulusgabe gemessenen Hörschwellenabwanderung eine logarithmische Beziehung besteht.
Ebenso beschrieb NAKAMURA (1964), daß die TTS nach Beschallung durch Breitbandrauschen mit einer Lautstärke unterhalb von 85 dB linear mit dem Logarithmus der Belastungszeit steigt.

Die nötige Belastungsdauer bis zum Erreichen eines steady-state der Adaptation wird bei niedrigen und mittleren Intensitäten mit 3 min angegeben (FELDMANN, 1958; KUNZE, 1950; OPITZ, 1973). Messungen der Aktivität von Einzelfasern zeigten bei langer Beschallung eine zu Beginn überschießende Entladungsrate, die bald auf ein gleichbleibendes Niveau abfällt (KIANG et al., 1965).
SCHAEFER (1959) stellte nach Beschallung durch weißes Rauschen ein Ansteigen des Adaptationseffektes mit der Zeit fest, der Anstieg ist in der ersten Minute besonders steil und mündet bei 2 - 3 min in ein steady-state. Bis zu 0,5 sec nach Beschallungsende zeigte sich eine sehr rasche Readaptation, danach nähern sich die Kurven erheblich langsamer der Hörschwelle vor Beschallung.
"Die Erholung ist nach 1 - 2 min vollständig" (OPITZ, 1973).
ELLIOT und FRASER (1970) stellten fest, daß 4 sec nach Ende der Beschallung der Adaptationseffekt noch vorhanden ist. Die Dauer

der durch einen Reiz hervorgerufenen Hörschwellenverschiebung nach Stimulusende (after-effect) ist kürzer als die Dauer des Stimulus selbst (z.B. 1 - 2 sec nach Stimulation von 5 - 10 sec). Wenn ein Stimulus, der nur einige Minuten gegeben wird - um Hörermüdung zu vermeiden - einen after-effect hervorruft, der kürzer als die Stimulusdauer ist, muß dieser after-effect der Adaptation zugeordnet werden (BENTZEN, 1953).

In einigen Untersuchungen wird das Adaptationsverhalten Normalhörender mit dem Schwerhöriger verglichen. Es wurde festgestellt, daß die Dauer der nach Stimulusgabe hervorgerufenen TTS bei Normalhörenden und Schalleitungsschwerhörigen gleich groß ist, bei Innenohrschwerhörigen die Adaptation jedoch von längerer Dauer ist (HOOD, 1950).

Bei Schalleitungsschwerhörigen findet sich eine ähnliche Kurzzeitadaptation wie bei Normalhörenden, lediglich die Intensität des Stimulus ist zu höheren Werten verschoben (GARDNER, 1947). Bei Schallempfindungsschwerhörigen ist die TTS bei mittleren Lautstärkeintensitäten des Stimulus größer als bei Normalhörenden und Schalleitungsschwerhörigen (Abb. 3).

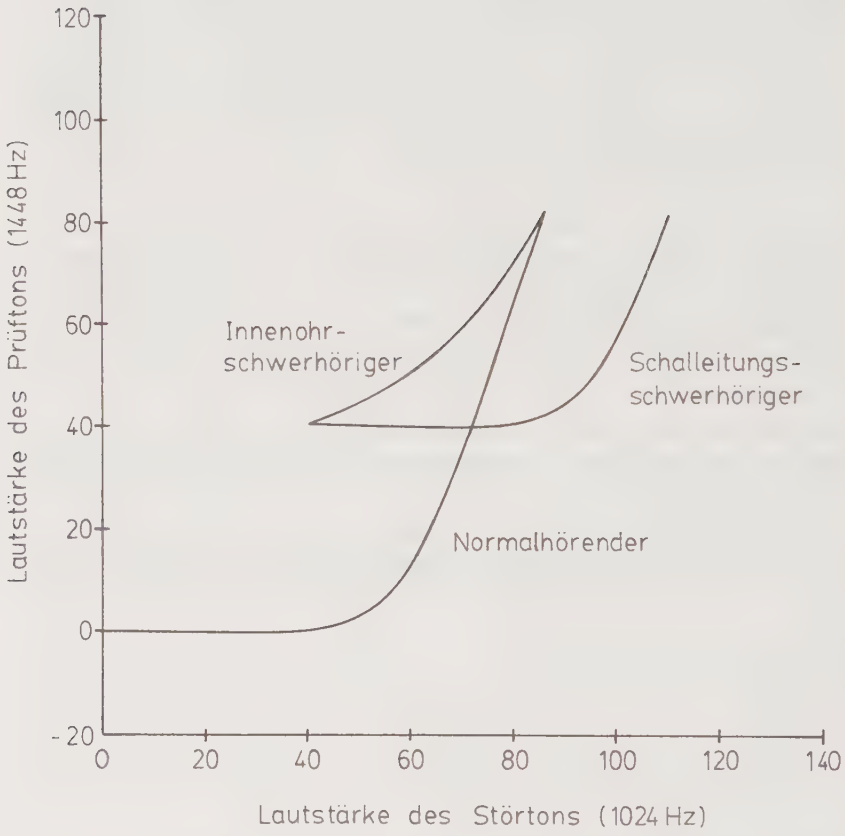

Abb. 3: Schematische Darstellung des Ermüdungsvorganges bei einer Normalperson, einem Schalleitungsschwerhörigen und einem Schallempfindungsschwerhörigen aus: GARDNER (1947)

In dieser Arbeit werden nähere Untersuchungen zur Frage der Adaptation nach Beschallung mit Geräuschen aus der Umwelt dargestellt.

4. Versuchsaufbau für die Adaptationsmessungen

4.1. Meßapparatur und Versuchsanordnung

4.1.1. Erstellung, Analyse und Eichung der Verdeckungsschalle

1) Erstellung der Geräusche

Für die Analyse wurden drei verschiedene Geräusche benutzt, um die Abhängigkeit des Adaptations-Phänomens vom Charakter des Störschalls beurteilen zu können.

Sprachsimulierendes Rauschen:

Zur Herstellung des bei den Untersuchungen notwendigen sprachsimulierenden Rauschens wurden die im Blockschaltbild gezeigten Geräte benutzt (Abb. 4).

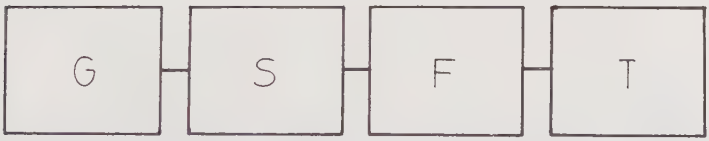

Abb. 4: Blockschaltbild zur Herstellung des sprachsimulierenden Rauschens

G = Rauschgenerator
S = Filter zur Erzeugung von sprachsimulierendem Rauschen
F = Filter zur Freifeldentzerrung
T = Tonbandgerät zur Aufnahme des erzeugten Rauschens

Das sprachsimulierende Rauschen wurde entsprechend dem zu Eichzwecken auf den Tonträger für normierte Sprachteste in der Audiometrie aufgetragenen Signal konzipiert.

Straßenverkehrslärm:

An einer Hauptverkehrsstraße, die den Durchgangsverkehr durch eine Großstadt führt, wurde Lärm zur Hauptverkehrszeit über eine Stunde lang aufgezeichnet. Der Lärm wurde vom Straßenrand her auf dem gleichen Kanal eines hochwertigen Cassettenrecorders aufgenommen wie das sprachsimulierende Rauschen. Da in diesem Geräusch durch das An- und Abschwellen des Verkehrs kurze Lautstärkeschwankungen von ± 10 dB und mehr vorkamen (Abb. 5a), wurde dieses Geräusch mit Hilfe mehrerer Tonbandgeräte 21 mal überspielt. Damit wurde erreicht, daß die Lautstärkeschwankungen nur noch ± 5 dB betrugen (Abb. 5b). Die Lautstärke wurde mit dem Brüel und Kjær Level Recorder Type 1305 registriert.

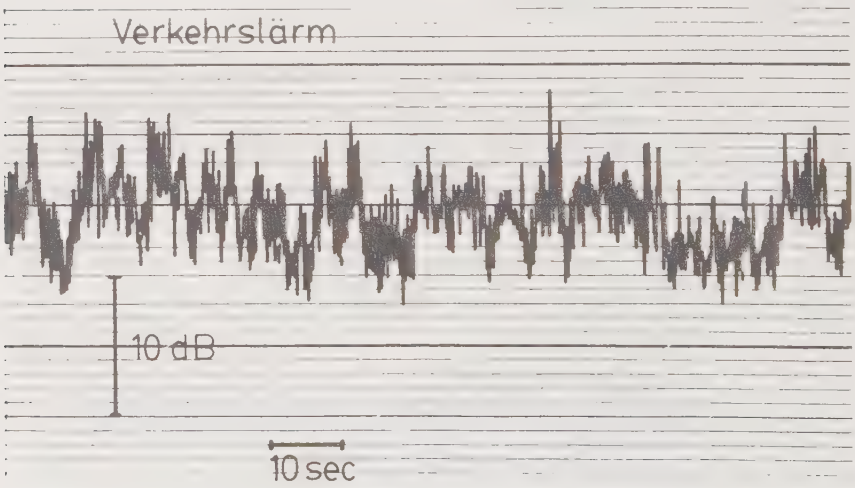

Abb. 5a: Lautstärkeschwankungen des Originalgeräusches (Straßenverkehrslärm)

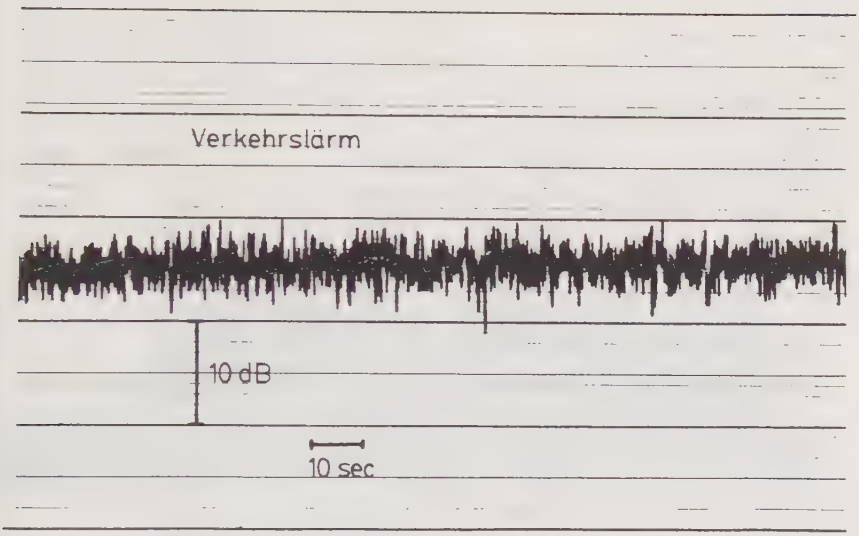

Abb. 5b: Lautstärkeschwankungen des 21 mal überspielten Mutterbandes (Straßenverkehrslärm)

Impulshaltiger Lärm:

Zur Aufnahme eines impulshaltigen Geräusches wurde eine Gesenkschmiede aufgesucht; der dort vorhandene Lärm enthielt - hervorgerufen durch die unterschiedliche Schlagfolge der schweren Hämmer - starke Impulse. Die Aufnahmetechnik war die gleiche wie bei der Aufnahme des Straßenverkehrslärms. Im Originalgeräusch (Abb. 6a) tauchten Lautstärkepegeldifferenzen von $\pm$ 15 dB auf, durch ein 21-maliges Überspielen wurden Pegeldifferenzen von $\pm$ 5 dB erreicht (Abb. 6b).

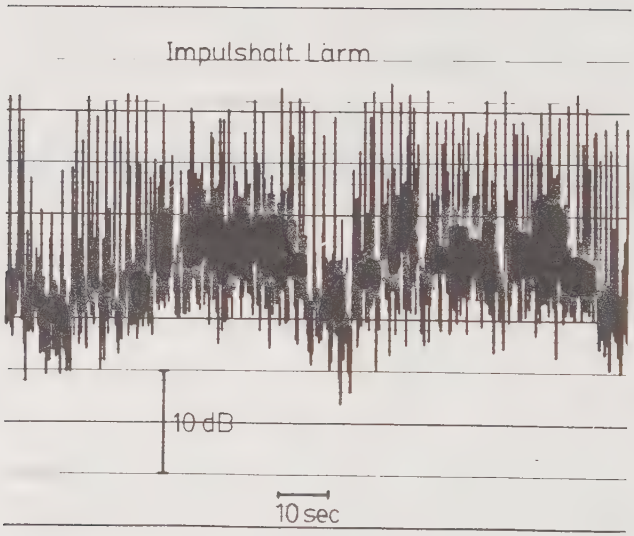

Abb. 6a: Lautstärkeschwankungen des Originalgeräusches (impulshaltiger Lärm)

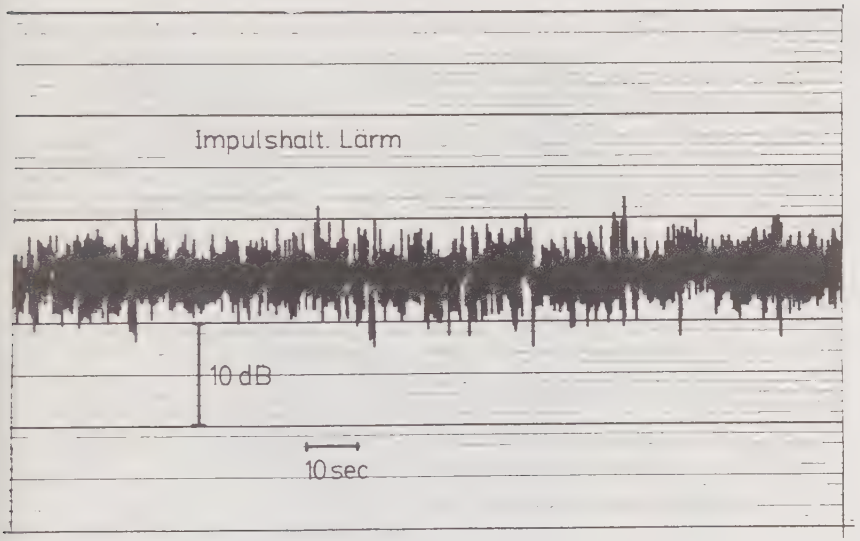

Abb. 6b: Lautstärkeschwankungen des 21 mal überspielten Mutterbandes (impulshaltiger Lärm)

2) Frequenzanalyse der Geräusche

Zur Frequenzanalyse benutzten wir folgendes Gerät: "Sonagraph^{R} 7029A 5-16000 Hz Spectrum Analyser" der Firma "Kay Elemetrics Co. Pine Brooks,N.J.". Das Sonagramm stellt die Frequenzgehalte eines Signals in Abhängigkeit von der Zeit dar. Es kommt nicht zu einer exakten Analyse der Frequenzen, sondern es werden in erster Linie komplexe Zeitmuster erkannt.

Sprachsimulierendes Rauschen:

Bei diesem Rauschen treten Frequenzen bis etwa 3000 Hz auf, die in ihrer Verteilung dem Frequenzgang der Sprache entsprechen. Der Hauptanteil des Geräusches liegt unterhalb von 1000 Hz, es liegen aber auch größere Frequenzanteile zwischen 1000 und 2000 Hz (Abb. 7).

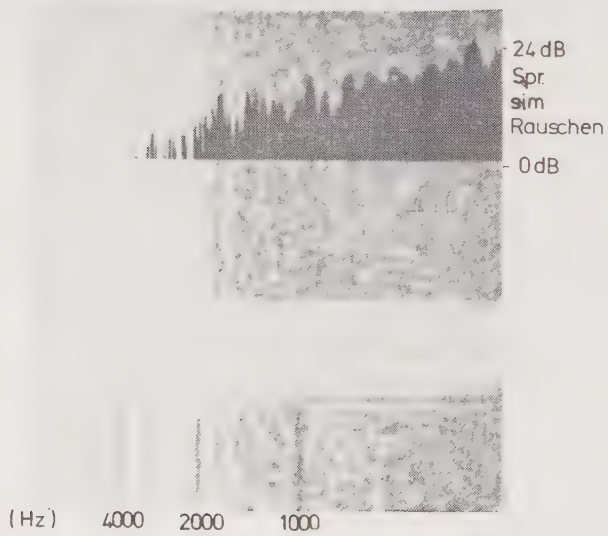

Abb. 7: Frequenzspektrum des sprachsimulierenden Rauschens.

Straßenverkehrslärm:

Mit dem Sonagraphen erhielten wir bei der Frequenzanalyse des Originalgeräusches ein Spektrum von 0 bis 1800 Hz mit einem Hauptanteil bei 125 bis 300 Hz. Die Frequenzen bei dem mehrmals überspielten Straßenverkehrslärm entsprechen dem des Originalgeräusches (Abb. 8).

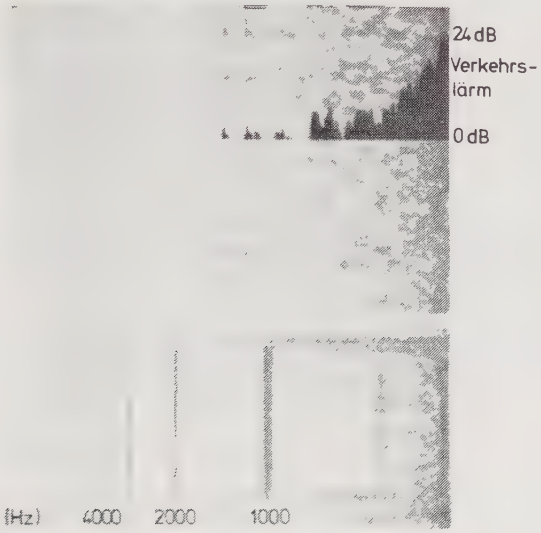

Abb. 8: Frequenzspektrum des Straßenverkehrslärms

Impulshaltiger Lärm:

Das in der Fabrik aufgenommene Geräusch wurde ebenso mit dem Sonagraphen analysiert. Der Frequenzgang des Originalgeräusches umfaßt ein breites Frequenzspektrum bis zu ca. 7000 Hz. Am stärksten sind die unter 1000 Hz gelegenen Frequenzen vertreten. Das überspielte Geräusch verhält sich gleichsinnig (Abb. 9).

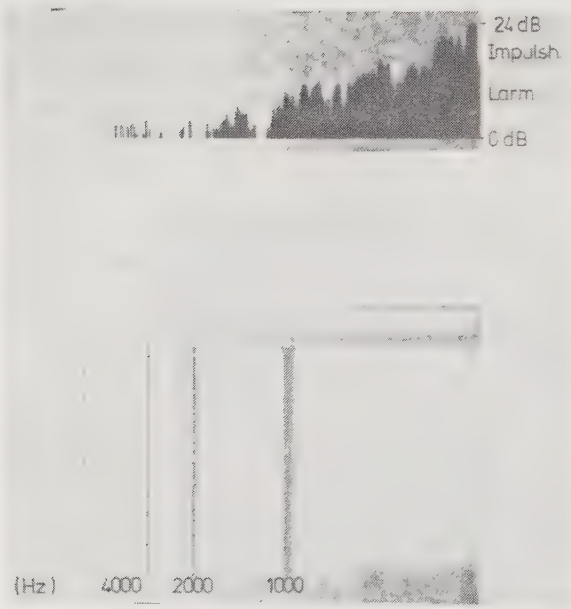

Abb. 9: Frequenzspektrum des impulshaltigen Lärms

3) Eichung der Geräuschlautstärke

An jeweils 12 normalhörenden männlichen und weiblichen Versuchspersonen im Alter zwischen 20 und 30 Jahren wurde getrennt jeweils für das rechte und linke Ohr die Hörschwelle der oben beschriebenen Geräusche bestimmt.
Die Ausgangslautstärke des Tonbandgeräts war dabei konstant.
Der Zentralwert der ermittelten Hörschwellen wurde für das jeweils gemessene Geräusch bestimmt.
Die Eichung wurde so durchgeführt, daß die Hörschwelle für die Geräusche bei der Einstellung O dB HL am Audiometer lag. Dazu wurde die Ausgangslautstärke des Tonbandgerätes mit Hilfe eines

Kupplers (künstliches Ohr - Precision Sound Level Meter Brüel and Kjær Type 2203) entsprechend verändert (Abb. 10).

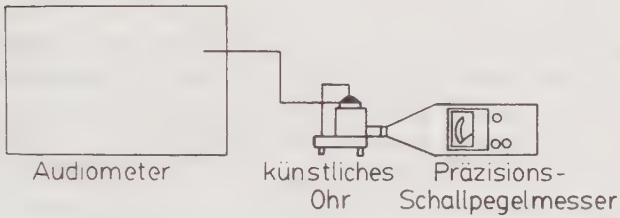

Abb. 10: Prüfung eines Audiometers nach Brüel und Kjær, Kopenhagen. Meßgeräte, 1967 (modifiziert nach HAHLBROCK, 1970)

Die Testtöne des Audiometers wurden entsprechend der ISO-Norm kalibriert.

4.1.2. Schaltung der Apparate

Dasselbe Ohr sollte gleichzeitig mit dem Geräusch und den Tönen beschallt werden. Die Schaltung der Apparate ist aus Abbildung 11 ersichtlich (Abb. 11).

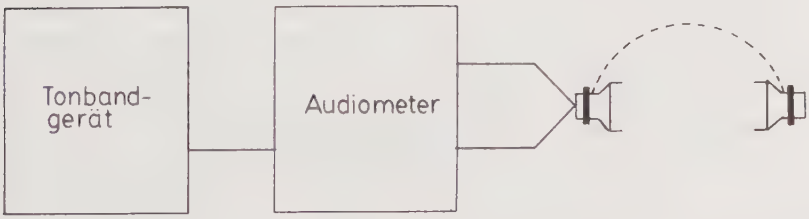

Abb. 11: Schaltung der Apparate bei der Adaptationsuntersuchung

Veränderungen der Intensität der Töne und Geräusche waren in 5 dB-Stufen möglich.

4.1.3. Auswertungsschema der Meßergebnisse

Zentralwert:

Sowohl bei wiederholten Messungen an derselben als auch bei Messungen an verschiedenen Versuchspersonen treten Schwankungen der Meßergebnisse auf. Um die verschiedenen Meßergebnisse zu mitteln, wurde bei den Versuchen jeweils der Zentralwert gebildet, der im Unterschied zum linearen wie zum quadratischen Mittelwert gegenüber nichtlinearer Transformation invariant ist. Entsprechend wurde als Maß für die Abweichung der Versuchsergebnisse untereinander nicht die Standardabweichung oder die mittlere Schwankung,sondern die wahrscheinliche Schwankung ermittelt.

Zur Ermittlung des Zentralwertes werden die Meßergebnisse der Reihenfolge ihrer Größe nach geordnet; der Zentralwert ist nach ZWICKER (1967) definiert als derjenige Wert, der die über und unter ihm liegenden Hälften der Anzahl aller Meßwerte trennt (Abb. 12).

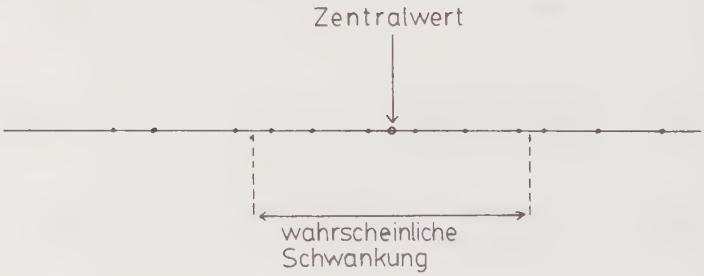

Abb. 12: Ermittlung des Zentralwertes

Das Viertel aller Meßergebnisse, das direkt über und das Viertel aller Meßergebnisse, das direkt unter dem Zentralwert liegt, werden zusammengefaßt als wahrscheinliche Schwankung. Durch Anwendung dieser Mittlungsmethode gehen Extremwerte, die im oberen und unteren Viertel der Meßergebnisse liegen, in die Beurteilung nicht mit ein.

Pegelangaben:

Die angegebenen Pegel kennzeichnen entweder den physikalischen Schalldruckpegel (SPL: sound pressure level) und sind auf den Schalldruck 2×10^{-4} ubar bezogen oder sie kennzeichnen den auf die normale (HL: hearing level) oder die pathologische (SL: sensation level) Hörschwelle bezogenen Pegel.
Die Lautstärkeangaben werden für die Geräusche bei den Normalpersonen in dB HL, bei den Schwerhörigen in dB SL gemacht. Die Lautstärkepegel der Töne werden jeweils in dB SPL angegeben. In den Diagrammen werden die Schwellenangaben der pathologischen Ohren in dB SL gemacht.

4.2. Versuchsdurchführung

Normalpersonen und schwerhörige Versuchspersonen.

36 normalhörende Personen beiderlei Geschlechts im Alter von 20 bis 30 Jahren wurden untersucht. Die Hörschwelle einer Person wurde als normal bezeichnet, wenn sie bei keiner gemessenen Frequenz um mehr als 5 dB von der idealen Hörschwelle abwich.

Zur Untersuchung der 53 Innenohrschwerhörigen - eine Schalleitungsschwerhörigkeit war ausgeschlossen worden - wurde folgende Einteilung vorgenommen:

1) Innenohrschwerhörigkeiten vom basocochleären Typ

Die Hörschwellen wiesen einen Hochtonabfall oberhalb von 1000 Hz auf. Bis 1 kHz war die Hörschwelle 25 dB oder besser, bei 2 kHz schlechter als 30 dB, bei 4 kHz schlechter als 40 dB (Abb. 13 und 14).

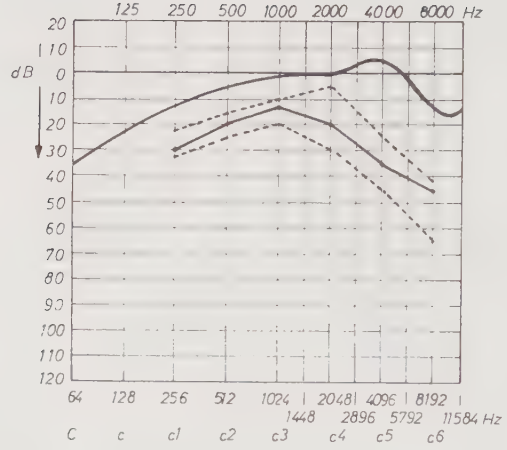

Abb. 13: Hörschwelle der Hochtonschwerhörigen, die mit sprachsimulierendem Rauschen beschallt wurden

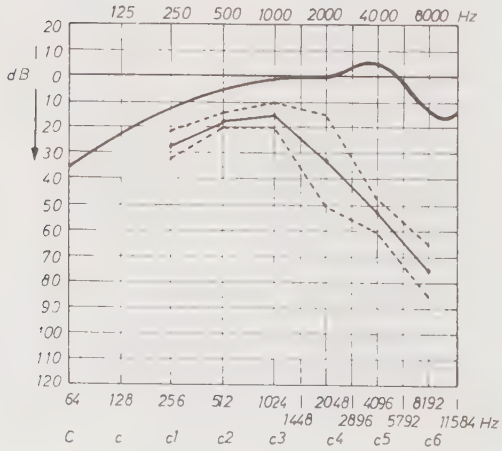

Abb. 14: Hörschwelle der Hochtonschwerhörigen, die mit Verkehrslärm beschallt wurden

2) Innenohrschwerhörigkeiten vom pancochleären Typ

Der Hörverlust dieser 24 Probanden lag im gesamten untersuchten Frequenzbereich zwischen 30 und 65 dB (Abb. 15 und 16).

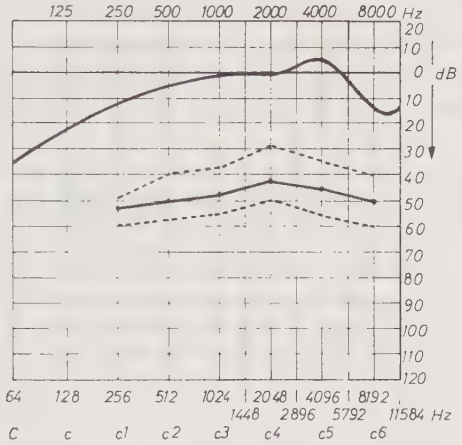

Abb. 15: Hörschwelle der pancochleär Schwerhörigen, die mit sprachsimulierendem Rauschen beschallt wurden

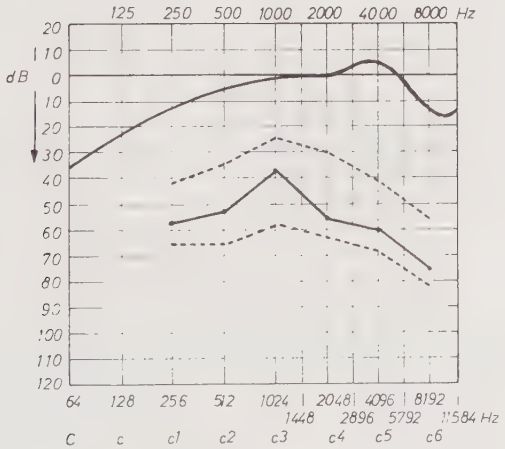

Abb. 16: Hörschwelle der pancochleär Schwerhörigen, die mit Verkehrslärm beschallt wurden

3) Innenohrschwerhörigkeiten vom apicochleären Typ

Die fünf Patienten hatten im hohen Frequenzbereich (spätestens ab 4096 Hz) eine normale Hörschwelle, zu den tiefen Frequenzen wiesen sie einen starken Hörverlust auf. Die Hörschwellen einzelner Baßschwerhöriger werden bei der Besprechung der Ergebnisse gezeigt.

4.2.1. Ausführung der Versuche zur Adaptation

Bei jedem Probanden wurde die Ruhehörschwelle für die Frequenzen 256, 512, 1024, 2048, 4096 und 8192 Hz kurz vor Versuchsbeginn bestimmt. Anschließend wurde die Versuchsperson über 3 min einem 60 bzw. 80 dB (SL) lauten Geräusch ausgesetzt. Direkt nach Beendigung der Geräuschbelastung wurde die Hörschwelle bei 2048 Hz bestimmt. Nach einer Pause wurde erneut beschallt und anschliessend die Hörschwelle für 4096 Hz bestimmt. Die gleiche Meßmethode wurde bei 1024 Hz und dann bei 512 Hz verwandt.

Die Probanden wurden entweder mit Straßenverkehrslärm oder mit sprachsimulierendem Rauschen beschallt.

5. Vorversuche

In einem Vorversuch wurde bei jeweils zwölf normalhörenden Personen festgestellt, nach welcher Beschallungsdauer die vollständige Adaptation erreicht ist.
Die Hörschwelle des Probanden wurde für die Frequenzen 512 - 4096 Hz bestimmt. Nach zweiminütiger Beschallung wurde die Tonschwelle erneut geprüft, so auch nach 3-, 4- und 5-minütiger Beschallung.
Die Abbildungen 17 und 18 zeigen bei der jeweiligen Zuordnung von Intensität und Zeit das erstmalig sichere Auftreten des steady-state der Adaptation.

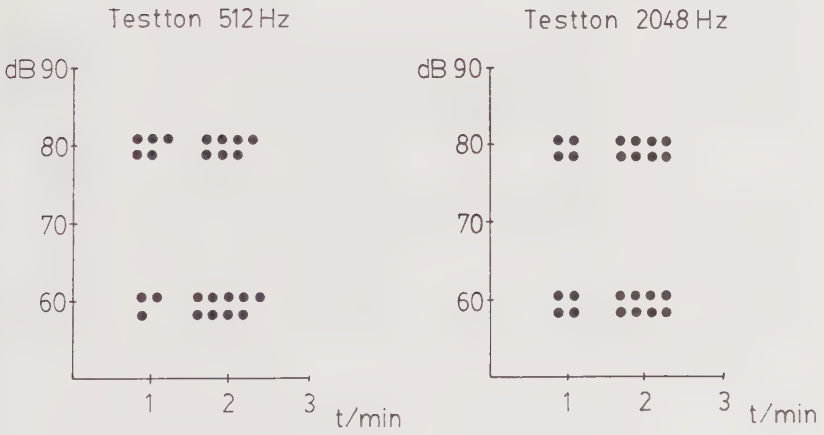

Abb. 17: Einfluß von Pegel und Dauer des sprachsimulierenden Rauschens auf den Zeitpunkt des Erreichens des steady-state

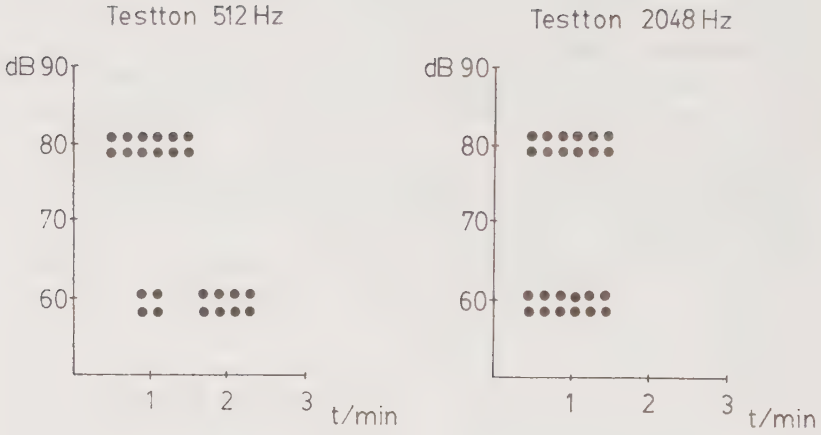

Abb. 18: Einfluß von Pegel und Dauer des Straßenverkehrslärms auf den Zeitpunkt des Erreichens des steady-state

Aus dieser Untersuchung geht hervor, daß bei den verwandten Umweltgeräuschen die Adaptation nach 2 min vollständig ist. Da nach den in Abschnitt 3 beschriebenen Untersuchungen die vollständige Adaptation erst nach 3 min erreicht ist, führten auch wir die Adaptationsmessungen nach 3-minütiger Beschallung durch.

6. Versuchsergebnisse

Die Versuche, deren Ergebnisse im folgenden beschrieben werden, wurden mit der in Abschnitt 4 beschriebenen Methode durchgeführt.

6.1. Normalhörende Probanden

Bei beiden Geräuschen ist die Hörschwelle in den tiefen Frequenzen zu größeren Intensitäten als in den hohen Frequenzen verschoben. Der Unterschied zwischen den Hörschwellen nach Beschallung durch ein 60 bzw. 80 dB lautes Geräusch ist nur sehr gering (Abb. 19 und 20).

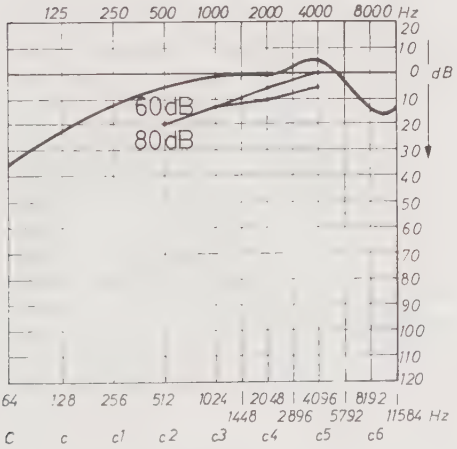

Abb. 19: Adaptation bei Normalpersonen nach Beschallung mit Straßenverkehrslärm von 60/80 dB

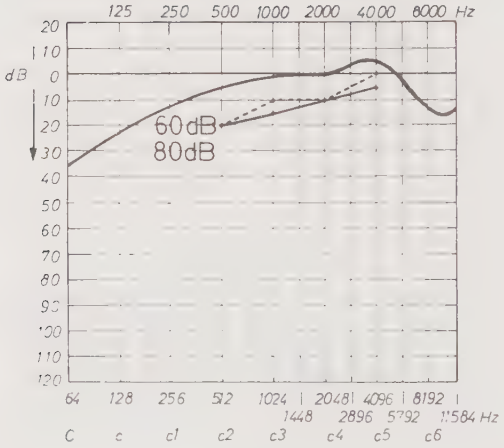

Abb. 20: Adaptation bei Normalpersonen nach Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen von 60/80 dB

6.2. Probanden mit Innenohrschwerhörigkeit vom basocochleären Typ

Bei beiden Geräuschen ist der Einfluß auf die Hörschwelle bei tiefen Frequenzen (512 und 1024 Hz) größer als bei den hohen (2048 und 4096 Hz). Die Lautstärkeänderung des belastenden Schalles um 20 dB bewirkt eine Hörschwellenänderung um 5 - 10 dB (Abb. 21 und 22).

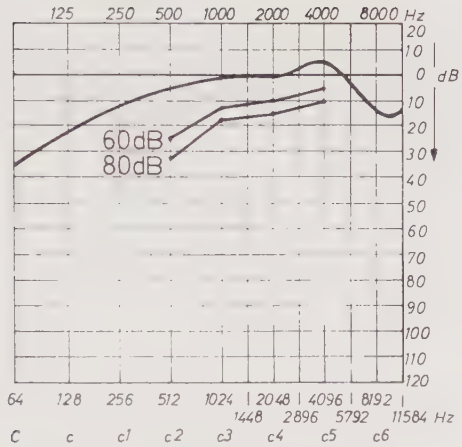

Abb. 21: Adaptation der Hochtonschwerhörigen nach Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen von 60/80 dB

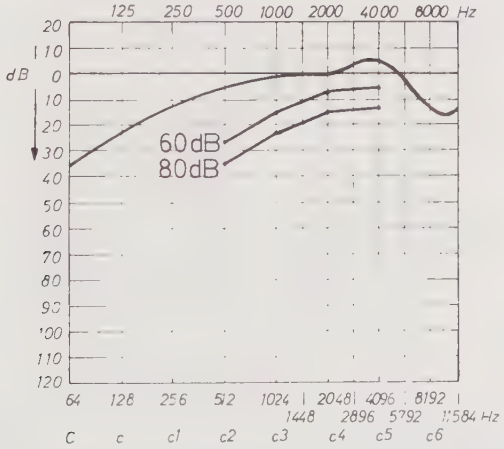

Abb. 22: Adaptation der Hochtonschwerhörigen nach Beschallung mit Straßenverkehrslärm von 60/80 dB

6.3. Probanden mit Innenohrschwerhörigkeit vom pancochleären Typ

Am Audiometer waren nur Geräuschlautstärken bis 100 dB HL einstellbar. Deshalb konnten bei den pancochleär schwerhörigen Probanden (Abb. 23 und 24) nur die Prüfungen nach 60 dB lauter Beschallung einer statistischen Analyse unterzogen werden.

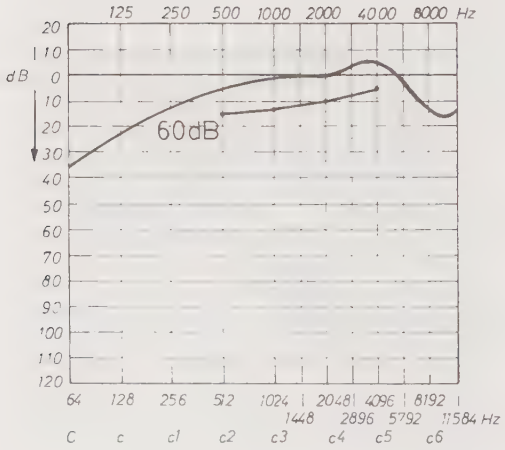

Abb. 23: Adaptation bei pancochleär Schwerhörigen nach Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen von 60 dB

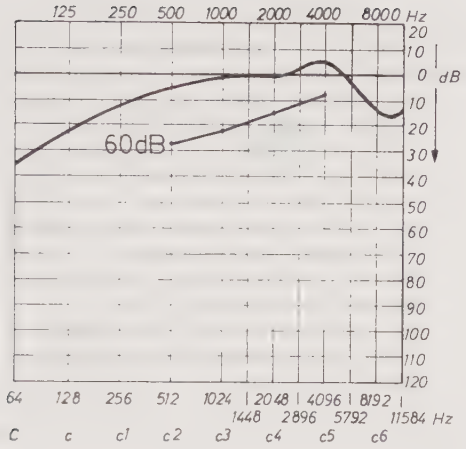

Abb. 24: Adaptation bei pancochleär Schwerhörigen nach Beschallung mit Straßenverkehrslärm von 60 dB

Die Untersuchung mit 80 dB SL lauter Beschallung wurde an insgesamt 16 Personen durchgeführt; hierzu werden nur Einzelbeispiele gezeigt (Abb. 25 und 26).

Die Beeinflussung der Hörschwelle nach Beschallung mit Straßenverkehrslärm nimmt zu den hohen Frequenzen ab; sie ist bei 512 Hz um 10 dB stärker als bei 4096 Hz.

Beim sprachsimulierenden Rauschen unterscheidet sich der Adaptationseinfluß bei den verschiedenen geprüften Frequenzen um höchstens 5 dB (Abb. 23 und 24).

Die Hörschwellen nach Beschallung mit 60 und 80 dB zeigen bei beiden Geräuschen einen Unterschied von maximal 10 dB. Bei 2048 Hz und 4096 Hz unterscheiden sich nach Beschallung durch Straßenverkehrslärm von 60 und 80 dB die Hörschwellen nicht (Abb. 25 und 26).

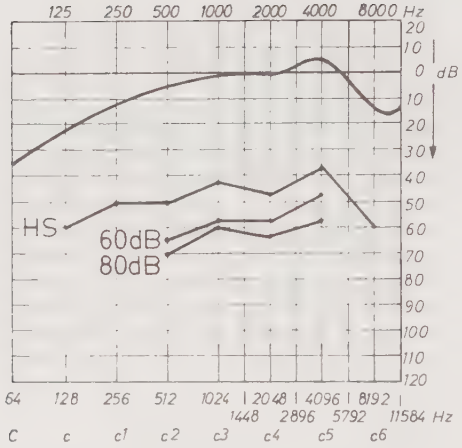

Abb. 25: Hörschwelle eines pancochleär Schwerhörigen vor und nach Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen von 60/80 dB

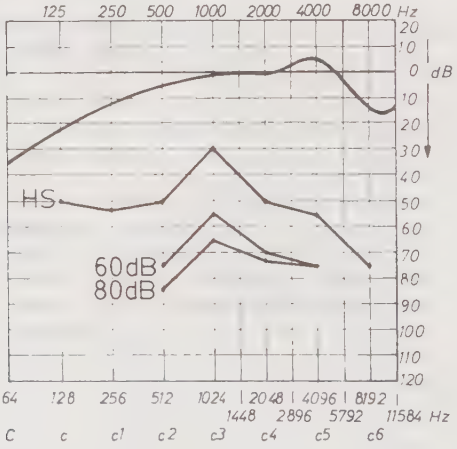

Abb. 26: Hörschwelle eines pancochleär Schwerhörigen vor und nach Beschallung mit Straßenverkehrslärm von 60/80 dB

6.4. Probanden mit Innenohrschwerhörigkeit vom apicocochleären Typ

Es können nur Einzelfälle besprochen werden, da wegen der geringen Anzahl apicocochleärer Schwerhörigkeiten nur vier Personen für unsere Untersuchungen mit Straßenverkehrslärm und nur eine Person für die Untersuchung mit sprachsimulierendem Rauschen geprüft werden konnten. Die Abbildungen 27 und 28 zeigen ein typisches Beispiel für jedes Geräusch.

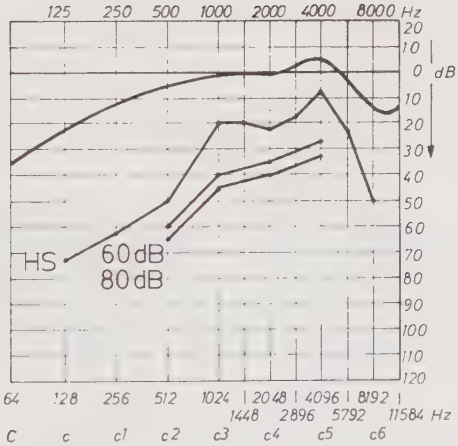

Abb. 27: Hörschwelle eines apicocochleär Schwerhörigen vor und nach Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen von 60/80 dB

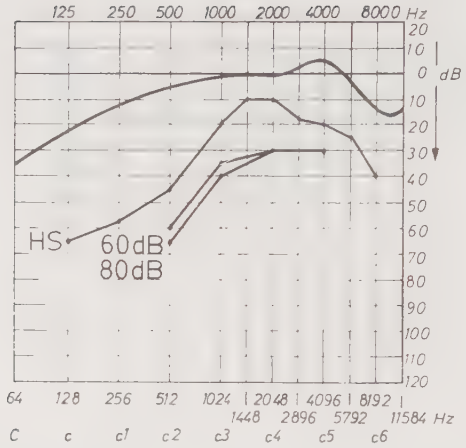

Abb. 28: Hörschwelle eines apicocochleär Schwerhörigen vor und nach Beschallung mit Straßenverkehrslärm von 60/80 dB

Bei beiden Geräuschen ist die Hörschwelle nach Beschallung bei 512 Hz nur gering verändert.

Nach Belastung mit sprachsimulierendem Rauschen wird die Hörschwelle bei den übrigen geprüften Frequenzen um ca. 20 dB verschoben.

Nach Beschallung mit Verkehrslärm kommt es bei 1024 und 2048 Hz zu einer ähnlich starken Hörschwellenverschiebung, bei 4096 Hz ist der Adaptationseinfluß deutlich geringer als bei mittleren Frequenzen.

Die Schwellenabwanderung ist über den gesamten geprüften Frequenzbereich bei beiden Probanden stärker als bei Normalpersonen.

7. Diskussion

7.1. Vergleich der Untersuchungen an Normalhörenden und hörgeschädigten Probanden

Die unterschiedlichen Belastungssignale bedingen bei Normalpersonen sowohl bei Belastungspegeln von 60 wie auch 80 dB eine gleich starke Schwellenverschiebung für beide Geräusche, lediglich bei 1024 und 2048 Hz ist eine geringfügig stärkere Schwellenverschiebung durch das sprachsimulierende Rauschen feststellbar (Abb. 29).

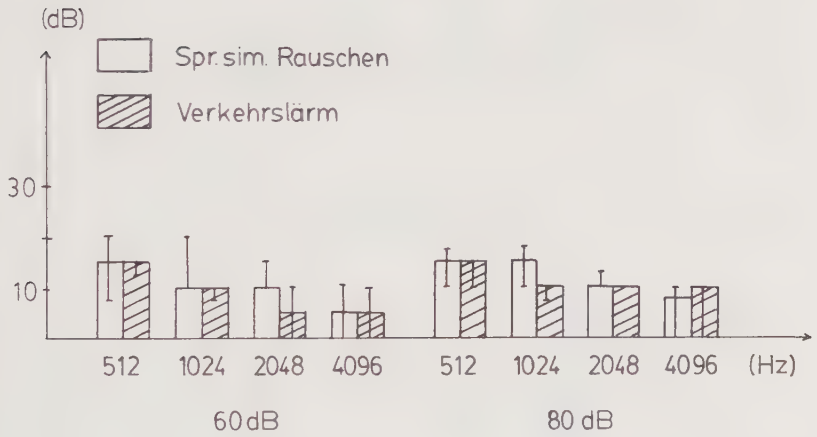

Abb. 29: Adaptation bei Normalpersonen nach Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen bzw. Straßenverkehrslärm

Abbildung 30 zeigt die durch sprachsimulierendes Rauschen bei Belastungspegeln von 60 oder 80 dB hervorgerufene Schwellenabwanderung, Abbildung 31 die an Normalpersonen durch Verkehrslärm hervorgerufenen Schwellenverschiebungen. In Abhängigkeit vom Be-

lastungspegel ergeben sich für die tiefen Frequenzen keine unterschiedlichen Schwellenverschiebungen, zu den höheren Frequenzen steigt mit Zunahme des Belastungspegels die Schwellenabwanderung an.

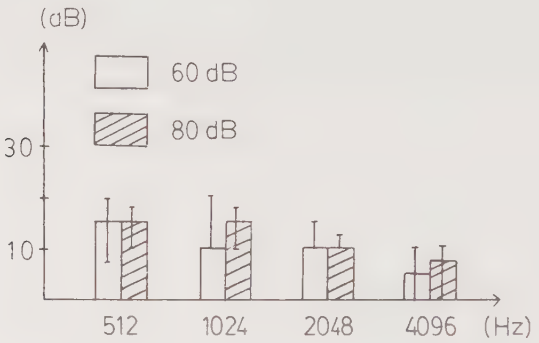

Abb. 30: Adaptation bei Normalpersonen nach Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen

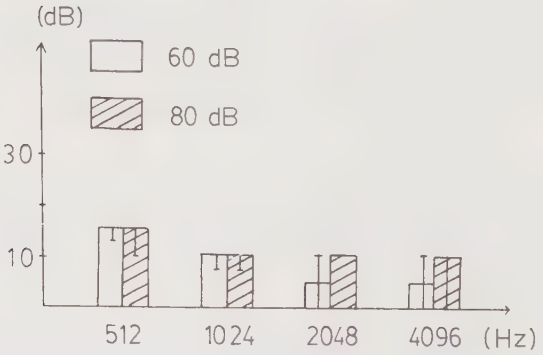

Abb. 31: Adaptation bei Normalpersonen nach Beschallung mit Verkehrslärm

Bei Beschallung von Patienten mit basocochleärem Hörverlust wird insgesamt eine größere Schwellenverschiebung durch den Straßenverkehrslärm als durch das sprachsimulierende Rauschen bewirkt. (Abb. 32).

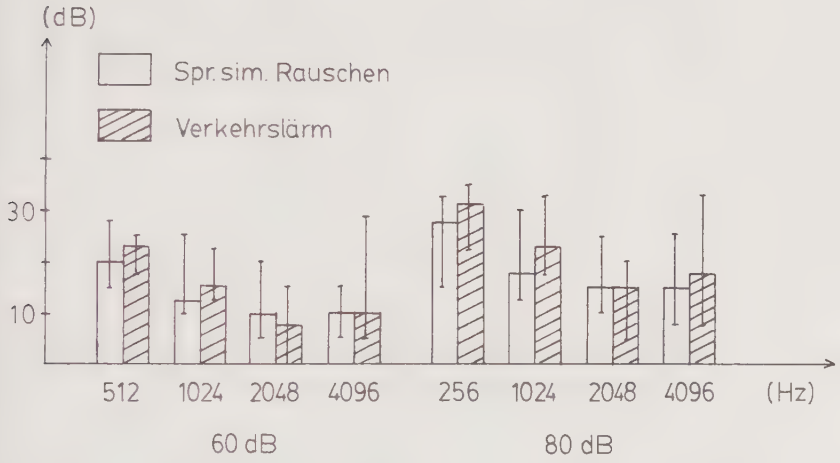

Abb. 32: Adaptation bei Hochtonschwerhörigen nach Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen bzw. Straßenverkehrslärm

Untersucht man den Unterschied zwischen Einfluß der Intensität des Belastungsschalles auf die Hörschwelle von Patienten mit basocochleärem Hörverlust, so zeigt sich bei höheren Geräuschpegeln eine Zunahme der Schwellenverschiebung (Abb. 33 und 34).

Bei beiden Geräuschen bewirkt eine Erhöhung des Belastungspegels um 20 dB eine Vergrößerung der Schwellenabwanderung um 5 - 10 dB.

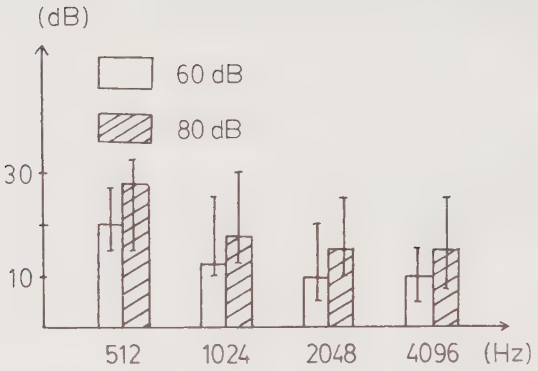

Abb. 33: Adaptation bei Hochtonschwerhörigen nach Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen

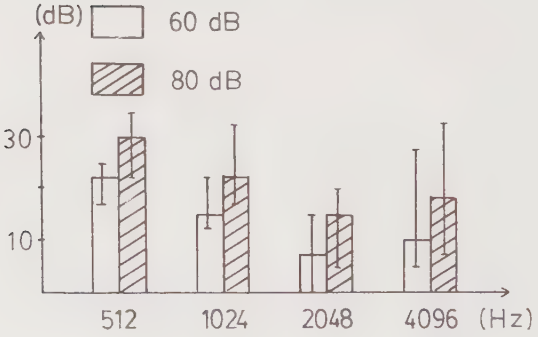

Abb. 34: Adaptation bei Hochtonschwerhörigen nach Beschallung mit Verkehrslärm

In der Gegenüberstellung von Normalhörenden und Patienten mit Hochtonabfall erkennt man in den Histogrammen (Abb. 35 und 36) eine stärkere Hörschwellenverschiebung bei den Hochtonpatienten.

Bei Belastung durch sprachsimulierendes Rauschen ist die Verschiebung der Hörschwellen von Hochtonpatienten besonders bei 512 Hz deutlich ausgeprägter als bei Normalpersonen (ca. 10 dB). Das Maximum der Schwellenverschiebung liegt bei beiden Probandengruppen bei 512 Hz (Abb. 35).

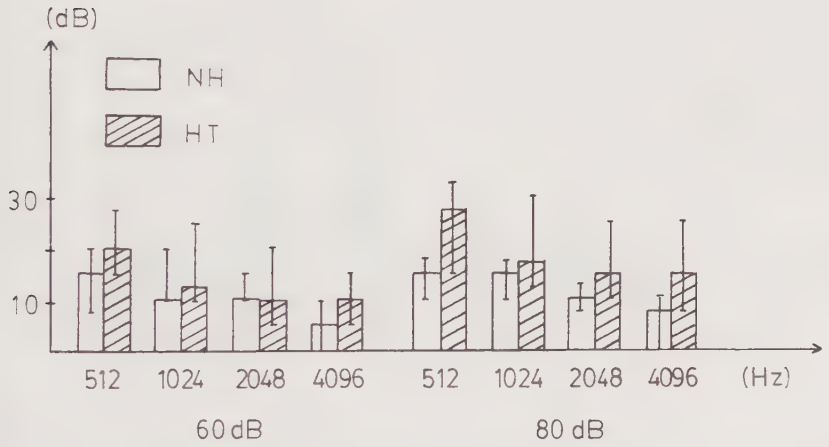

Abb. 35: Adaptation bei Normalpersonen und Hochtonschwerhörigen nach Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen

Auch bei Beschallung mit Verkehrslärm liegt die größte Schwellenabwanderung bei 512 Hz. Die gegenüber Normalpersonen stärkere Hörschwellenverschiebung bei Hochtonschwerhörigen ist hier im gesamten Frequenzbereich noch ausgeprägter als nach Belastung mit sprachsimulierendem Rauschen (Abb. 36).

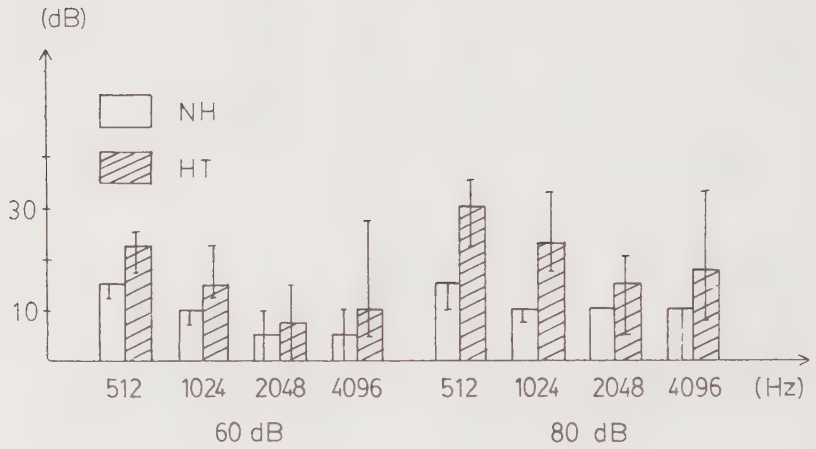

Abb. 36: Adaptation bei Normalpersonen und Hochtonschwerhörigen nach Beschallung mit Straßenverkehrslärm

In der Gegenüberstellung der durch die unterschiedlichen Geräusche verursachten Schwellenabwanderungen bei pancochleär Schwerhörigen zeigt sich ein stärkerer Einfluß durch den Straßenverkehrslärm (Abb. 37).

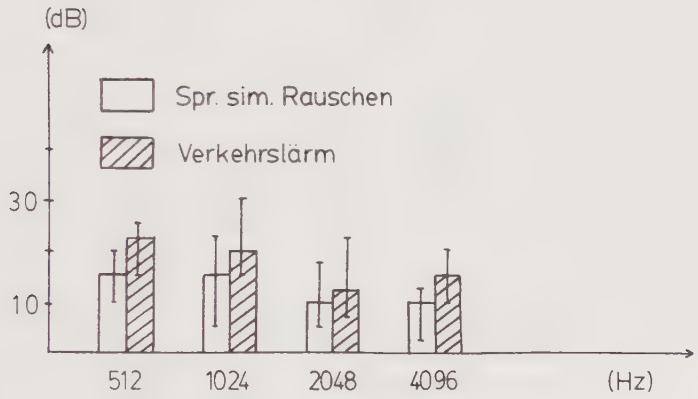

Abb. 37: Adaptation bei pancochleär Schwerhörigen nach Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen bzw. Verkehrslärm

Der Einfluß der Intensität des Belastungsschalles auf die Hörschwelle bei pancochleär Hörgeschädigten kann nicht analysiert werden, da die Untersuchung nicht bei allen Patienten mit 80 dB SL durchgeführt wurde (s.S. 36).

Ein Vergleich zwischen Normalhörenden und Probanden mit pancochleärem Hörverlust ergibt Schwellenunterschiede bei 60 dB Belastungspegel des Straßenverkehrslärms von 5 bis 15 dB; bei Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen ist ebenso ein etwas stärkerer Einfluß auf die pancochleär Hörgeschädigten zu beobachten, Schwellenunterschiede betragen hier 0 bis 5 dB (Abb. 38 und 39).

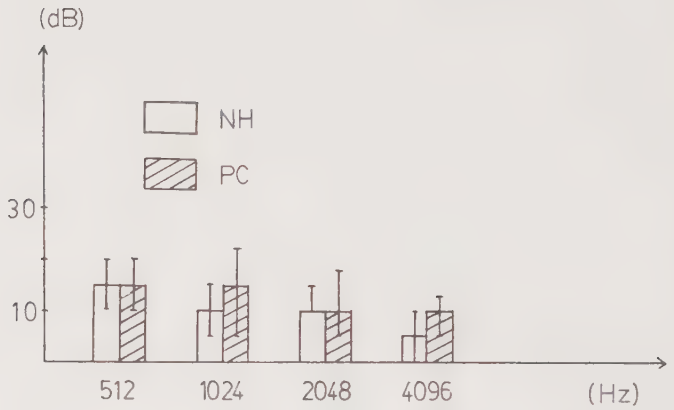

Abb. 38: Adaptation bei Normalhörenden und pancochleär Schwerhörigen nach Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen von 60 dB

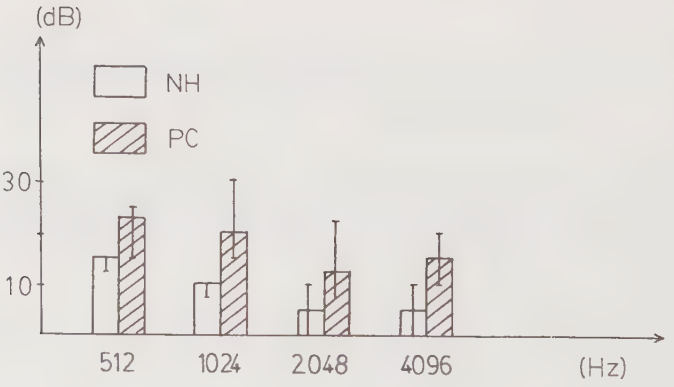

Abb. 39: Adaptation bei Normalhörenden und pancochleär Schwerhörigen nach Beschallung mit Verkehrslärm von 60 dB

Im Vergleich mit Hochtonschwerhörigen fällt nach Beschallung mit Straßenverkehrslärm eine größere Hörschwellenverschiebung bei pancochleär Hörgeschädigten auf (Abb. 40).

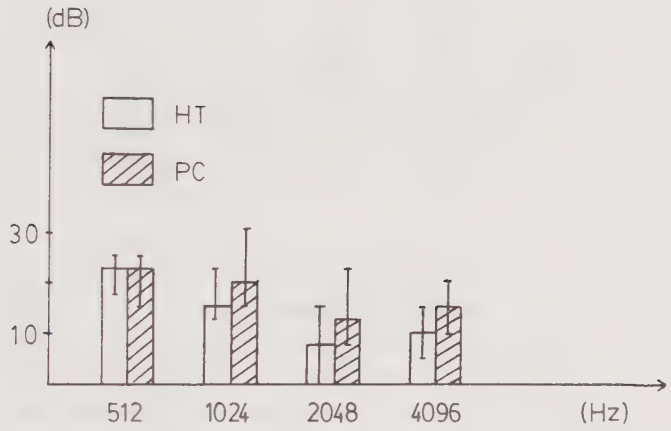

Abb. 40: Adaptation bei Hochtonschwerhörigen und pancochleär Schwerhörigen nach Beschallung mit Verkehrslärm von 60 dB

Bei sprachsimulierendem Rauschen ist kein Unterschied im Adaptationsverhalten zwischen Hochtonschwerhörigen und pancochleär Schwerhörigen feststellbar (Abb. 41).

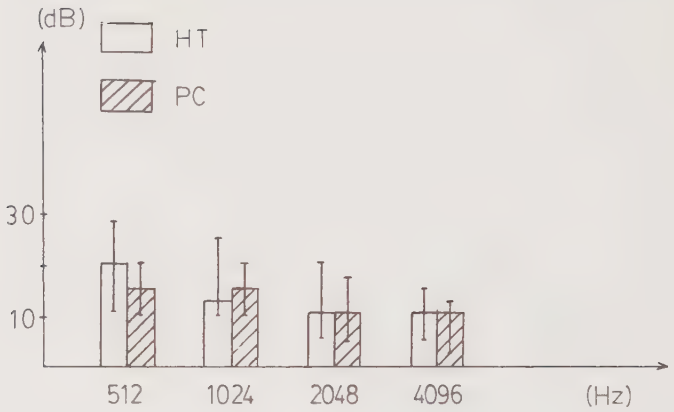

Abb. 41: Adaptation bei Hochtonschwerhörigen und pancochleär Schwerhörigen nach Beschallung mit sprachsimulierendem Rauschen von 60 dB

Die durch die unterschiedlichen Geräusche bei den Baßschwerhörigen hervorgerufenen Schwellenabwanderungen (Abb. 27 und 28) sind schwer miteinander vergleichbar, da schon die Ruhehörschwellen der beiden Probanden sehr unterschiedlich verlaufen. Insgesamt scheint durch sprachsimulierendes Rauschen eine etwas stärkere Schwellenabwanderung hervorgerufen zu werden, der Einfluß der Intensitätsänderung des Geräuschpegels scheint jedoch bei Beschallung mit Straßenverkehrslärm größer.

Bei 512 Hz ist die Schwellenabwanderung der Baßschwerhörigen deutlich geringer als bei Normalpersonen; über den gesamten übrigen Frequenzbereich ist sie bei den Baßschwerhörigen stärker.

7.2. Vergleich der Ergebnisse mit Untersuchungen in der Literatur

Vollständige Adaptation ist nach den Ergebnissen des in Abschnitt 5 beschriebenen Versuchs mit Umweltgeräuschen nach 2 min erreicht. Dies läßt sich mit der Beobachtung von SCHAEFER (1959) vereinbaren, daß der durch weißes Rauschen hervorgerufene Adaptationseffekt mit der Zeit der Beschallung ansteigt und nach zwei bis drei Minuten einen steady-state erreicht.

Ähnliche Resultate erhielt OPITZ (1973), der den steady-state der Adaptation nach drei-minütiger Beschallung angibt.

Die bisherigen Untersuchungen beschäftigten sich mit der Adaptation nach Belastung mit Sinustönen und synthetisierten Geräuschen (wie z.B. GVR). In dieser Arbeit sind die belastenden Schalle Geräusche aus der Umwelt, bei denen der Gehalt der verschiedenen Frequenzen ungleichmäßig ist. Die Vergleichbarkeit unserer Ergebnisse mit denen aus der Literatur ist weitgehend eingeschränkt.

Es wird ein Ansteigen der temporären Hörschwellenabwanderung mit der Intensität des einwirkenden Schalles (Ton) beschrieben (SCHAEFER, 1959). Auch Umweltgeräusche verursachen eine intensitätsabhängige Änderung des Adaptationsgrades. Sowohl bei Normalpersonen als auch bei den schwerhörenden Probanden findet man mit wachsender Geräuschbelastung eine Zunahme der temporären Schwellenabwanderung (TTS).

Im Vergleich der TTS zwischen Normalpersonen und Schwerhörigen zeigt sich stets eine größere Adaptation bei den schwerhörigen Probanden. GARDNER (1947) hatte dieses unterschiedliche Verhalten Normalhörender und Innenohrgeschädigter nach Belastung mit Tönen festgestellt.

Das Maximum der TTS liegt bei hohen Lautstärkeintensitäten der Töne eine halbe bis eine Oktave oberhalb der Stimulusfrequenz (DAVIS, 1957). Gleichmäßig verdeckendes Rauschen bewirkt ein Maximum der TTS bei 4000 Hz (SCHAEFER, 1959). Bei Prüfung der Adaptation an Umweltgeräuschen befindet sich bei allen untersuchten Gruppen das Maximum der TTS im tiefen Frequenzbereich.

8. Bisherige Untersuchungen zum Tinnitus

Durch Überschreiten der Adaptation bis zur Ermüdung des Gehörs infolge von Geräuschbelastung kann experimentell Tinnitus erzeugt werden. Wird der evozierte Tinnitus durch ein Geräusch verdeckt, so unterliegt dieser Vorgang in erheblichem Maße dem Einfluß der Adaptation (OPITZ, 1973).
Außer experimentell erzeugtem Tinnitus wird auch ein ständig vorhandener Tinnitus beschrieben, der besonders häufig bei Innenohrschwerhörigen beobachtet wird.
Im Hörsystem ist ständig eine durch ein feststehendes Muster charakterisierte Spontanaktivität vorhanden, die normalerweise nicht zu einer akustischen Empfindung führt. Fallen bestimmte Areale und damit deren Spontanaktivität aus, so kommt es zur Wahrnehmung von Ohrgeräuschen. Ein solcher Ausfall liegt zum Beispiel bei Innenohrschwerhörigkeiten vor. Wird durch einen hinzutretenden Schall das Spontanaktivitätsmuster überdeckt, so kann der Tinnitus nicht mehr wahrgenommen werden. Durch Beschallung mit Tönen unterschiedlicher Frequenzen mit einer Lautstärke, die den Tinnitus gerade nicht mehr hörbar macht, läßt sich eine Verdeckungskurve erstellen. Im Unterschied zu einer Kurve, die aus der Verdeckung eines entsprechenden externen Schalles resultiert, verläuft die zum evozierten Tinnitus erstellte Verdeckungskurve vom Verdeckungsmaximum zu den hohen und tiefen Frequenzen mit einem weniger steilen Gradienten (OPITZ, 1973).

An 80 Normalpersonen wurde von HELLER (1953) das Auftreten von Tinnitus in einem schallarmen Raum untersucht. Nach fünf Minuten konnte bei 94 % der untersuchten Probanden das spontane Auftreten eines Tinnitus festgestellt werden. Der Tinnitus scheint ständig vorhanden, aber durch Verdeckung durch Umgebungslärm nicht wahrgenommen zu werden.
FOWLER (1944) beobachtete bei 85 % von 2000 Schwerhörigen einen ständig vorhandenen Tinnitus.

Durch Provokation konnte in einem Versuch von ATHERLEY (1968) bei 98 % aller normalhörenden Probanden ein Tinnitus erzeugt werden. Nach Gabe eines 70 bis 110 dB lauten Schalles über fünf Minuten

trat bei fast allen Personen meist ipsilateral Tinnitus auf (BENTZEN, 1953; ATHERLEY, 1968).

OPITZ (1973) registrierte bei verschiedenen Lautstärkeintensitäten und Beschallungszeiten das Auftreten oder Nichtauftreten von Tinnitus. Er fand, daß Tinnitus nach fünf-minütiger 80 dB lauter Beschallung bei allen Probanden auftritt.

Provozierter Tinnitus liegt 5 bis 15 dB über der Hörschwelle (OPITZ, 1973; WARD, 1965; ATHERLEY, 1968). Auch der ständig vorhandene Tinnitus liegt in diesem Lautstärkebereich (GRAHAM und NEWBY, 1962; HELLER, 1953; REED und CHRISTIAN, 1961).

WARD (1965) beschrieb, daß der Tinnitus am häufigsten ein Breitbandgeräusch ist, das in der Charakteristik einem Wasserfall ähnelt. Laut anderen Untersuchungen hat der Tinnitus einen meist tonalen Charakter (LOEB und SMITH, 1967; ATHERLEY, 1968).

Bei der Bestimmung der Tinnitusfrequenz zeigen sich zwischen den einzelnen Probanden große Variationen. Bei wiederholter Prüfung an derselben Person findet man keine Änderung der Tinnitusfrequenz (LOEB und SMITH, 1967). Provozierter Tinnitus liegt bei den meisten Probanden zwischen 2000 und 7000 Hz mit einer Häufung zwischen 4000 und 6000 Hz (WARD, 1965; LOEB und SMITH, 1967; ATHERLEY, 1968).

Auch ständiger Tinnitus liegt vorwiegend zwischen 2000 und 6000 Hz (MEYER ZUM GOTTESBERGE, 1956; REED, 1960). GRAHAM (1965) gibt die Frequenzgrenzen eines ständig vorhandenen Tinnitus bei Schwerhörigen mit 155 und 7800 Hz an. Bei Schalleitungsschwerhörigen ist der Tinnitus in einem tieferen Frequenzbereich gelegen als bei Schallempfindungsschwerhörigen.

Die Frequenz des evozierten Tinnitus ist auch abhängig vom Frequenzgehalt des Geräuschs. Höherfrequente Schmalbandgeräusche verursachen einen höherfrequenten Tinnitus; dabei liegt die Tinnitusfrequenz über der Frequenz des Geräusches (ATHERLEY, 1968; LOEB und SMITH, 1967).

LOEB und SMITH (1967) stellten fest, daß die Tinnitusfrequenz höher liegt als der durch das Geräusch maximal verdeckte Ton.

Die Frequenz des Tinnitus ist immer niedriger als die Frequenz der maximalen Hörschwellenabwanderung nach Beschallung (ATHERLEY, 1968).

OPITZ (1973) fand, daß die Kurve der tonalen Verdeckung eines durch Belastung mit gleichmäßig verdeckendem Rauschen (GVR) provozierten Tinnitus ein relativ breites Optimum bei ca. 6000 Hz zeigt (s. Abb. 42). Sie fällt zu den tiefen Frequenzen kontinuierlich mit 10 bis 15 dB pro Oktave ab.

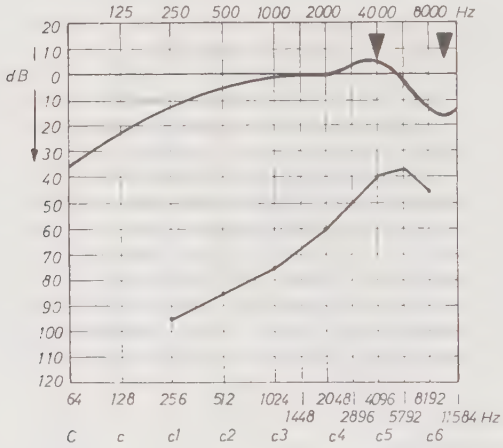

Abb. 42: Tonale Tinnitusverdeckung nach Belastung mit gleichmäßig verdeckendem Rauschen (nach OPITZ, 1973)

Wird der Tinnitus durch Schmalbandrauschen (500 und 2000 Hz Bandmittenfrequenz) erzeugt, liegt die Tinnitusfrequenz oberhalb der Frequenz des Schmalbandgeräusches, die Verdeckungskurve fällt zu tiefen Frequenzen langsamer ab als zu hohen (Abb. 43). Das Verdeckungsoptimum liegt unterhalb der Tinnitusfrequenz.

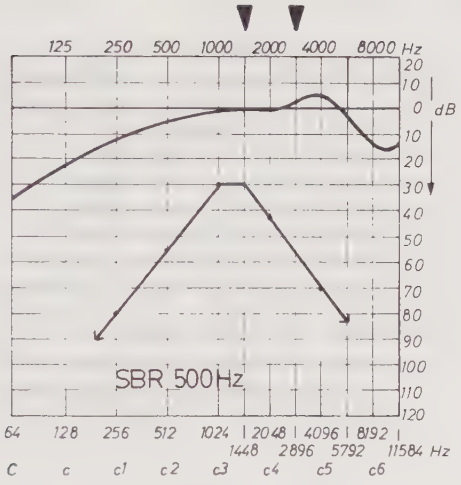

Abb. 43a: Tonale Tinnitusverdeckung nach Belastung mit Schmalbandgeräuschen (Terz) bei 500 Hz Bandmittenfrequenz (nach OPITZ, 1973)

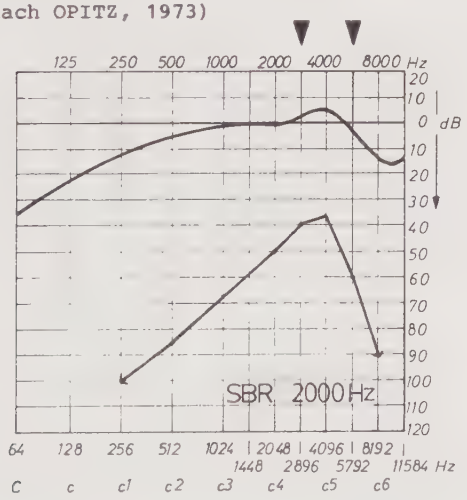

Abb. 43b: Tonale Tinnitusverdeckung nach Belastung mit Schmalbandgeräuschen (Terz) bei 2000 Hz Bandmittenfrequenz (nach OPITZ, 1973)

Bei einer Untersuchung zur Stabilität der Verdeckung des Tinnitus über der Zeit zeigt sich, daß am Verdeckungsoptimum die geringste Erhöhung der Intensität mit der Zeit notwendig ist (OPITZ, 1973).

Die geringsten Intensitäten zur Tinnitusverdeckung durch ein Geräusch werden benötigt, wenn der Frequenzgehalt des Geräusches gering unter der Frequenz des Tinnitus liegt (FOWLER, 1944).

Vergleicht man die Tinnitusverdeckungskurven bei unterschiedlichem Grad der Schwerhörigkeit, zeigt sich, daß mit zunehmendem Hörverlust das Verdeckungsoptimum immer weniger ausgeprägt ist und die Tonverdeckungskurve flach wird. Der Chrakter des Tinnitus verändert sich vom zunächst tonalen zum geräuschartigen.

Eingehende Untersuchungen zur Verdeckung ständig vorhandenen Tinnitus führte FELDMANN (1969) an 200 Patienten durch. Die mit Tönen oder Schmalbandrauschen erstellten Verdeckungskurven verliefen sehr ähnlich, mit Breitbandrauschen ergab sich ein uncharakteristisches Muster. Bei Hochtonschwerhörigen mit hochfrequentem Tinnitus konvergieren Hörschwellen- und Verdeckungskurve von den tiefen Frequenzen bis zur Tonhöhe des Ohrensausens und laufen dann dicht beieinander oder fallen zusammen (Konvergenztyp). Bei Patienten mit Hörsturz oder Morbus Menière wurde beobachtet, daß die Schwellenkurven im gesamten Frequenzbereich nur einen geringen oder gar keinen Abstand aufweisen (Kongruenztyp). Bei extrem starker Schwerhörigkeit erwies sich der Tinnitus als zum Teil nicht verdeckbar (Persistenztyp).

9. Versuchsanordnung und Auswertungsschema der Meßergebnisse

Die Untersuchungen zum Tinnitus wurden mit Straßenverkehrslärm und impulshaltigem Lärm durchgeführt.

Die Erstellung, Analyse und Eichung der Geräusche erfolgte wie unter 4.1.1. beschrieben. Auch die Schaltung der Apparate entsprach der bei den Untersuchungen zur Adaptation dargestellten (4.1.2.).

Zur Mittlung der Ergebnisse benutzten wir den Zentralwert nach ZWICKER (1967), als Maß der Streuung die wahrscheinliche Schwankung.

Die Pegelangaben erfolgten für die Geräusche in dB HL, die Lautstärke der Töne wurde in dB SPL angegeben.

10. Versuchsdurchführung

Die Hörprüfungen wurden an normalhörenden und schwerhörenden Versuchspersonen durchgeführt. Die Einteilung in Gruppen erfolgte nach den unter 4.2. beschriebenen Kriterien. Die Gruppe der Normalhörenden umfaßte 24 männliche und weibliche Probanden im Alter zwischen 20 und 30 Jahren. Außerdem wurden die Untersuchungen an 24 Hochtonschwerhörigen und 3 Patienten mit apicocochleärer Schwerhörigkeit durchgeführt.

Die durch Zentralwertbildung bei den Hochtonschwerhörigen ermittelten Hörschwellen zeigen Abb. 44 und 45.
Die Hörschwellen der Probanden mit Baßschwerhörigkeit werden jeweils mit den Abbildungen zur Tinnitusverdeckung gezeigt.

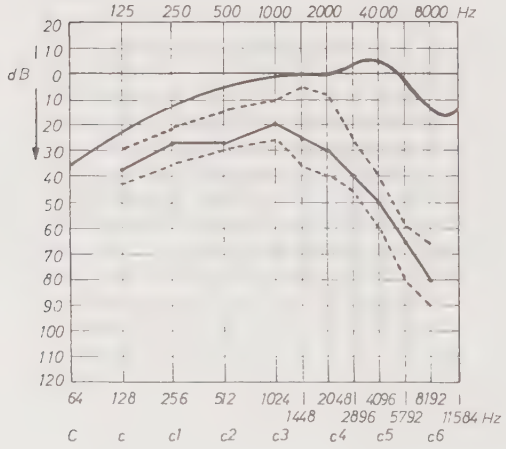

Abb. 44: Zentralwert und wahrscheinliche Schwankungen der Hörschwelle der Hochtonschwerhörigen, bei denen die Tinnitusmessung nach Beschallung mit Verkehrslärm durchgeführt wurde

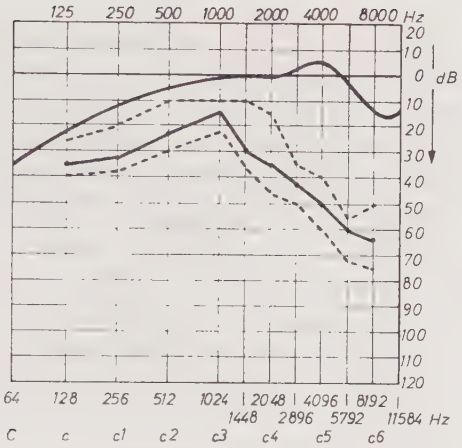

Abb. 45: Zentralwert und wahrscheinliche Schwankungen der Hörschwelle der Hochtonschwerhörigen, bei denen die Tinnitusmessung nach Beschallung mit impulshaltigem Lärm durchgeführt wurde

Es wurden nur Probanden untersucht, die keinen Spontantinnitus angaben. Zur Erzeugung eines Tinnitus wurde ihnen über eine Zeitspanne von fünf Minuten impulshaltiger Lärm oder Straßenverkehrslärm mit einer Lautstärke von 90 dB monaural geboten. Trat nach dieser Geräuschbelastung ein tonaler Tinnitus auf, der über längere Zeit anhielt, wurde zunächst durch Vergleich mit Tönen, die über das Audiometer auf das vorher beschallte Ohr gegeben wurden, die Tinnitusfrequenz ermittelt. Es wurde dabei nach dem bereits von FOWLER (1944) angewandten Verfahren vorgegangen, bei dem die Frequenz des Tinnitus durch Schachtelung bestimmt wurde. Anschließend wurde der Tinnitus durch Töne, die auf dasselbe Ohr gegeben wurden, verdeckt. Bei der Verdeckung des Tinnitus wurde die Intensität des verdeckenden Tones in 5 dB-Stufen solange erhöht, bis der Tinnitus nicht mehr gehört wurde. Die verwandten Frequenzen waren Töne in Oktavabständen zwischen 128 und 8192 Hz.

Die Versuche erforderten insgesamt einen erheblichen Zeitaufwand.

11. Vorversuch

Tinnitus kann in Abhängigkeit von unterschiedlichen Umweltgeräuschen bei einigen Probanden bereits bei niedrigen Belastungspegeln und kurzen Belastungszeitdauern evoziert werden. Zur Ermittlung der Zeit, nach der ein Tinnitus abhängig von der Lautstärke des auf das Ohr gegebenen Geräusches auftritt, wurde ein Vorversuch durchgeführt.

Jeweils zwölf normalhörenden Probanden wurde zunächst 1 min lang eines der beiden Geräusche mit 70 dB auf ein Ohr gegeben, wurde danach kein Tinnitus angegeben, wurde nach einer Pause 3 min beschallt, trat auch jetzt noch kein Tinnitus auf, wurde nach einer weiteren Pause 5 min lang beschallt. Gleiche Versuche wurden bei einer Lautstärke von 90 dB mit demselben Geräusch wiederum an je zwölf Personen durchgeführt.
Es ergaben sich die in Abbildung 46 und 47 gezeigten Ergebnisse.

Abb. 46: Einfluß von Pegel und Dauer des impulshaltigen Lärms bis zum Auftreten von Tinnitus

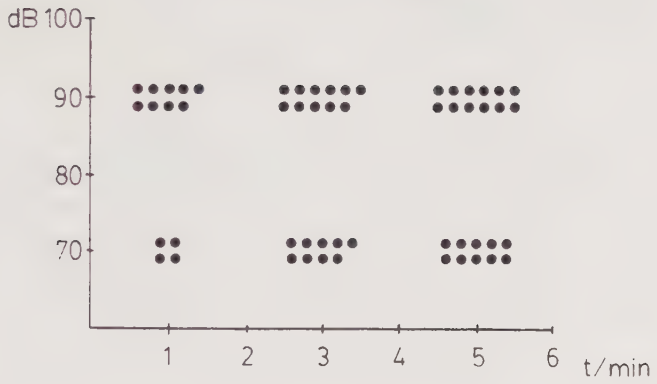

Abb. 47: Einfluß von Pegel und Dauer des Verkehrslärms bis zum Auftreten von Tinnitus

Die Abhängigkeit des evozierten Tinnitus von Belastungsintensität und Zeit ist für beide Geräusche nicht signifikant verschieden. Bei vielen Probanden konnte bereits durch Beschallung über drei Minuten und auch schon bei 70 dB Geräuschlautstärke ein Tinnitus provoziert werden. Alle Probanden nahmen nach 90 dB lauter 5-minütiger Beschallung einen Tinnitus wahr.

Unter diesen Bedingungen wurden die im folgenden beschriebenen Untersuchungen durchgeführt, da bei geringerer Lautstärke oder kürzerer Zeit das Auftreten eines Tinnitus nicht unbedingt gewährleistet ist.

Zur Tinnitusprovokation hatten LOEB und SMITH (1967) ebenfalls eine 5-minütige Beschallung mit verschiedenen 90 dB lauten Geräuschen gewählt. ATHERLEY (1968) provozierte Tinnitus durch Gabe von 110 dB lautem Schmalbandrauschen über eine Zeitspanne von fünf Minuten.

12. Versuchsergebnisse

In den Versuchen zur Tinnitusverdeckung, nach der in Abschnitt 10. beschriebenen Methode,wurden die im folgenden beschriebenen Ergebnisse erhalten.

12.1. Normalhörende Probanden

Bei Normalhörenden liegt der Frequenzbereich des Tinnitus für beide Geräusche bei 2896 Hz. Die wahrscheinliche Schwankung für Straßenverkehrslärm beträgt 2560 bis 4096 Hz, für impulshaltigen Lärm 2048 bis 3072 Hz. In diesem Frequenzband ist die notwendige Verdeckungsintensität am geringsten. Die größeren Verdeckungspegel sind im unteren Frequenzbereich zu finden (Abb. 48 und 49).

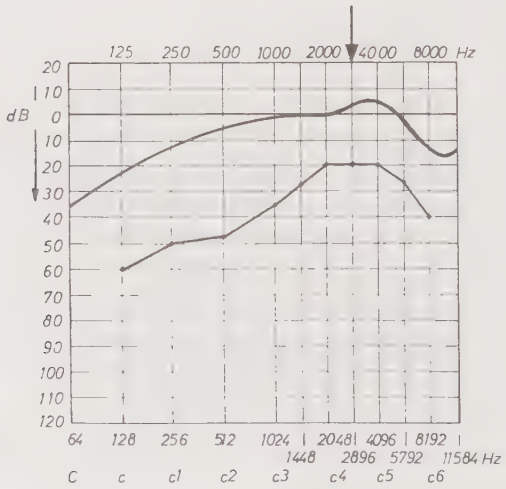

Abb. 48: Verdeckung des an Normalhörenden durch Verkehrslärm evozierten Tinnitus

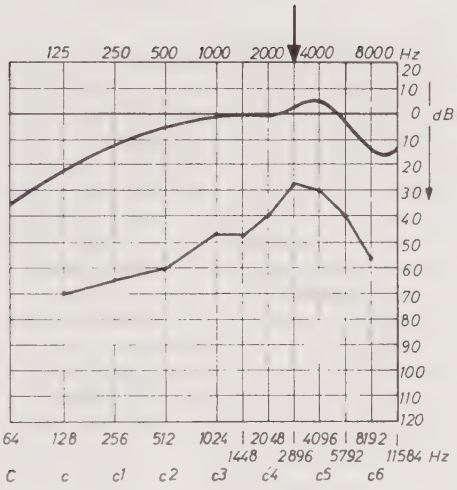

Abb. 49: Verdeckung des an Normalhörenden durch impulshaltigen Lärm evozierten Tinnitus

12.2. Patienten mit Innenohrschwerhörigkeit vom basocochleären Typ

Bei Hochtonschwerhörigen evoziert Verkehrslärm Tinnitus bei etwa 3000 Hz, impulshaltiger Lärm etwa bei 5000 Hz.
Bei beiden Belastungsschallen nimmt die notwendige Verdeckungsintensität zu hohen Frequenzen stetig ab (Abb. 50 und 51).
Bei fast allen Probanden liegt die Hörschwelle für das Geräusch unter der für einzelne Sinustöne.

KEIDEL (1975) beschrieb eine gegenüber Sinustönen niedrigere Schwelle als für Breitbandrauschen als verursacht durch die Verbreiterung der Frequenzgruppen.

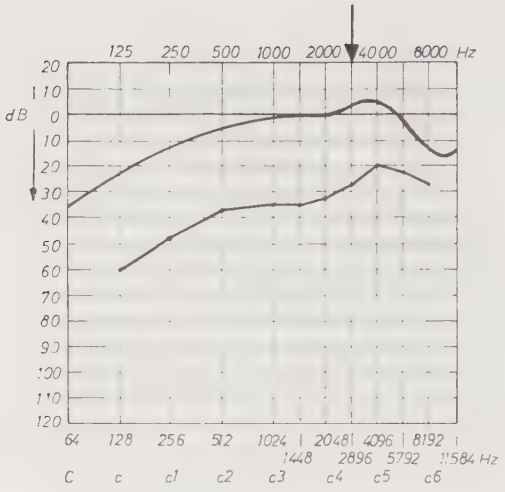

Abb. 50: Verdeckung des an Hochtonschwerhörigen durch Verkehrslärm evozierten Tinnitus

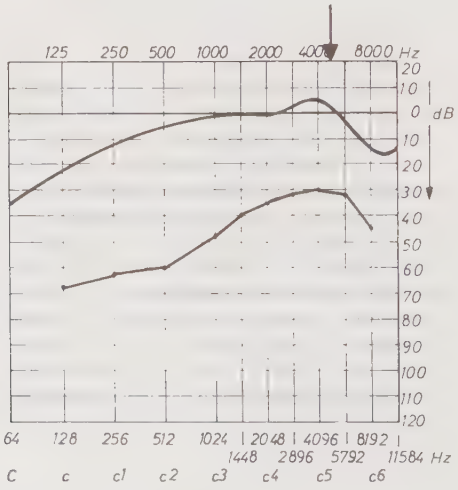

Abb. 51: Verdeckung des an Hochtonschwerhörigen durch impulshaltigen Lärm evozierten Tinnitus

Abbildung 52 und 53 zeigen die Ergebnisse der Tinnitusverdeckung bei zwei 50-jährigen männlichen Probanden.

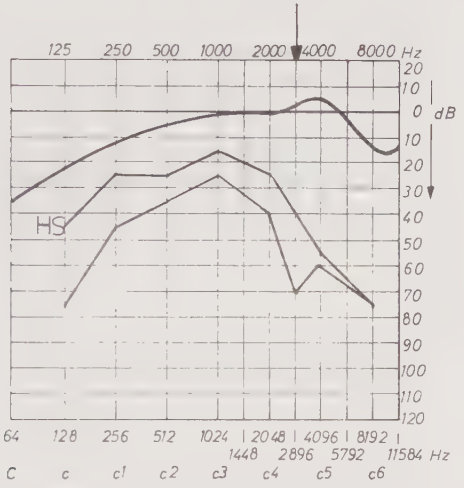

Abb. 52: Hörschwelle und Tinnitusverdeckung nach Beschallung mit Verkehrslärm bei einer Einzelperson

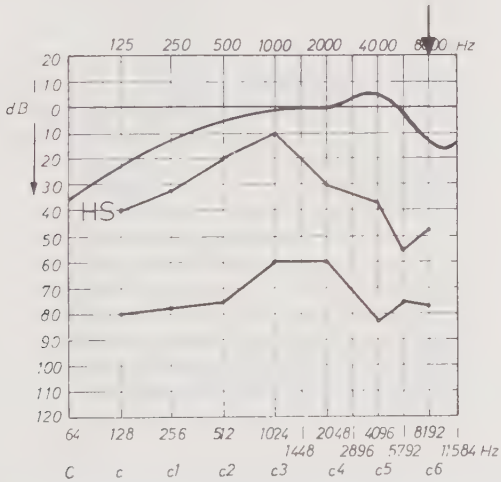

Abb. 53: Hörschwelle und Tinnitusverdeckung nach Beschallung mit impulshaltigem Lärm bei einer Einzelperson

Der mit Straßenverkehrslärm beschallte Patient gab nach fünfminütiger Beschallung auf dem beschallten Ohr einen Tinnitus bei 3000 Hz an. Die Kurve der tonalen Tinnitusverdeckung läuft bis zur Tinnitusfrequenz im Abstand von etwa 15 dB parallel zur pathologischen Hörschwelle und mündet bei höher gelegenen Frequenzen in die Hörschwelle ein (Abb. 52).
Bei dem mit impulshaltigem Lärm beschallten Patienten (Abb. 53) fand sich ein Tinnitus bei 8000 Hz auf dem belasteten Ohr. Zur Tinnitusverdeckung lagen die notwendigen Lautstärkeintensitäten im gesamten Frequenzbereich weit über der pathologischen Hörschwelle (bis zu 55 dB).
Der Abstand zwischen Hörschwelle und tonaler Verdeckungskurve wird zu den hohen Frequenzen geringer.

12.3. Patienten mit Innenohrschwerhörigkeit vom apicocochleären Typ

Die Untersuchungen wurden an drei Baßschwerhörigen nach Belastung mit Straßenverkehrslärm durchgeführt (Abb. 54, 55 und 56).

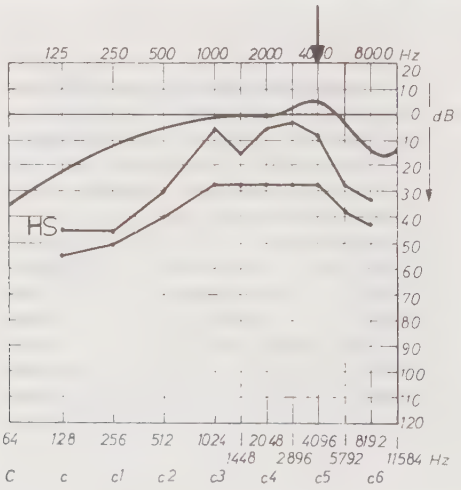

Abb. 54: Hörschwelle und Tinnitusverdeckung nach Beschallung mit Verkehrslärm bei einem Baßschwerhörigen

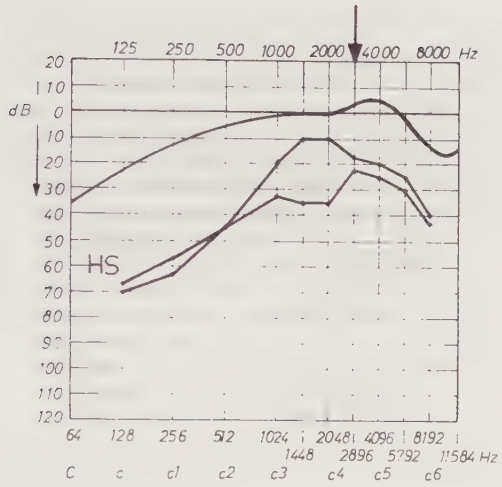

Abb. 55: Hörschwelle und Tinnitusverdeckung nach Beschallung mit Verkehrslärm bei einem Baßschwerhörigen

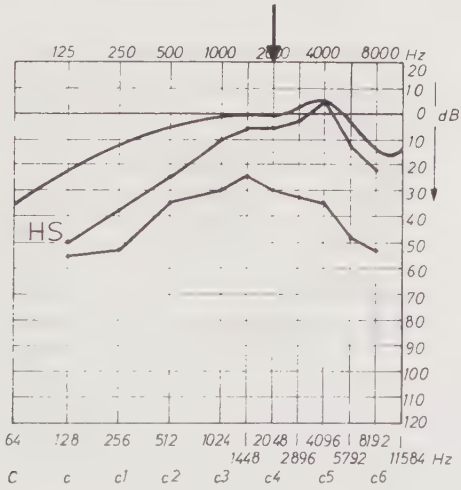

Abb. 56: Hörschwelle und Tinnitusverdeckung nach Beschallung mit Verkehrslärm bei einem Baßschwerhörigen

Die Baßschwerhörigen wiesen unterschiedliche Tinnitusfrequenzen auf (2000, 3000 und 4000 Hz). Bei allen Probanden war im unteren Frequenzbereich die Differenz zwischen Hörschwelle und Verdeckungsschwelle am geringsten.
Bei der Tinnitusfrequenz ist ein Minimum der notwendigen Verdeckungsintensität nicht feststellbar.

13. Diskussion

13.1. Vergleich der Untersuchungen an Normalhörenden und Hörgeschädigten

Die Kurven der Tinnitusverdeckung bei Normalpersonen verliefen abhängig vom Charakter des Geräusches unterschiedlich. So zeigt ein Vergleich beider Belastungsgeräusche größere notwendige Verdeckungspegel für impulshaltigen Lärm als für Verkehrslärm (Abb. 57 und 58).

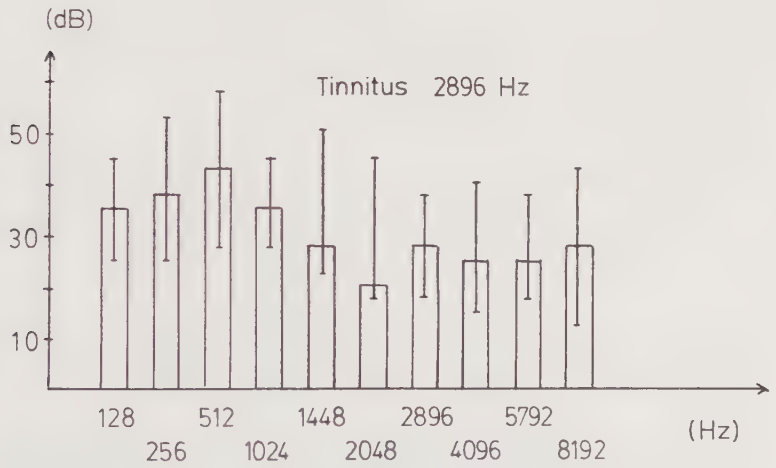

Abb. 57: Histogramm zur Tinnitusverdeckung nach Beschallung mit Verkehrslärm an Normalpersonen

Die Tinnitusfrequenz ist bei beiden Geräuschen etwa gleich, auch der Verlauf der Verdeckungskurven ist sehr ähnlich, d.h. bei tiefen Frequenzen sind die höchsten Verdeckungsintensitäten nötig, die geringsten sind im Bereich der Tinnitusfrequenz notwendig.

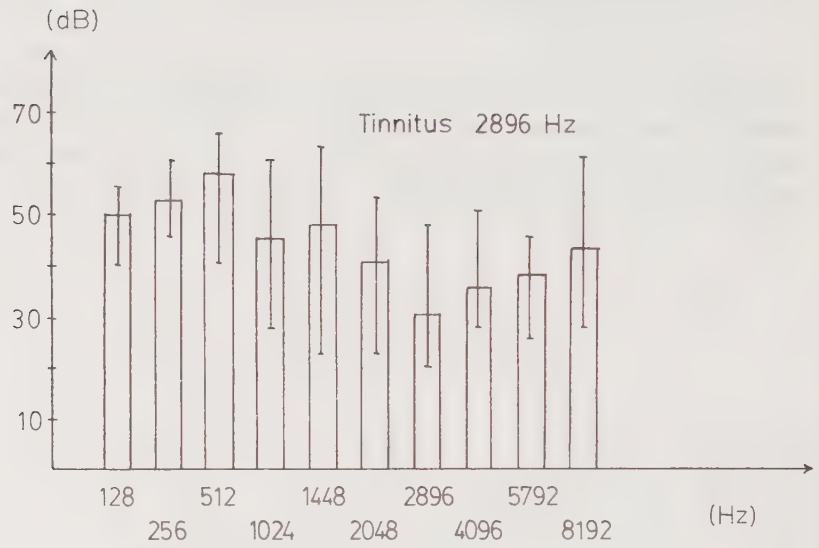

Abb. 58: Histogramm zur Tinnitusverdeckung nach Beschallung mit impulshaltigem Lärm an Normalpersonen

Das Kollektiv der Hochtonschwerhörigen zeigt in Abhängigkeit vom jeweiligen Belastungsgeräusch eine unterschiedliche Lage des evozierten Tinnitus; während der Tinnitus nach Straßenverkehrslärm bei 2896 Hz liegt, findet er sich bei dem höherfrequenterem Impulslärm bei 4944 Hz.

Das Minimum der notwendigen Verdeckungsintensität nach impulshaltigem Lärm liegt bei der Tinnitusfrequenz, die niedrigste notwendige Verdeckungsintensität bei dem durch Straßenverkehrslärm evozierten Tinnitus findet sich oberhalb der Tinnitusfrequenz.

Insgesamt sind die zur Tinnitusverdeckung erforderlichen Intensitäten bei Straßenverkehrslärm geringer als bei Impulslärm (Abb. 59 und 60).

Unterschiede in der Tinnitusverdeckung zwischen normalhörenden und hochtonschwerhörigen Probanden sind bei beiden Geräuschbelastungen kaum feststellbar.
In den hohen Frequenzen sind bei den Hochtonpatienten zur Tinnitusverdeckung stets geringere Lautstärkeintensitäten nötig. Bei beiden Kollektiven sind sonst in etwa gleich große Verdeckungsintensitäten notwendig (Abb. 61 und 62).

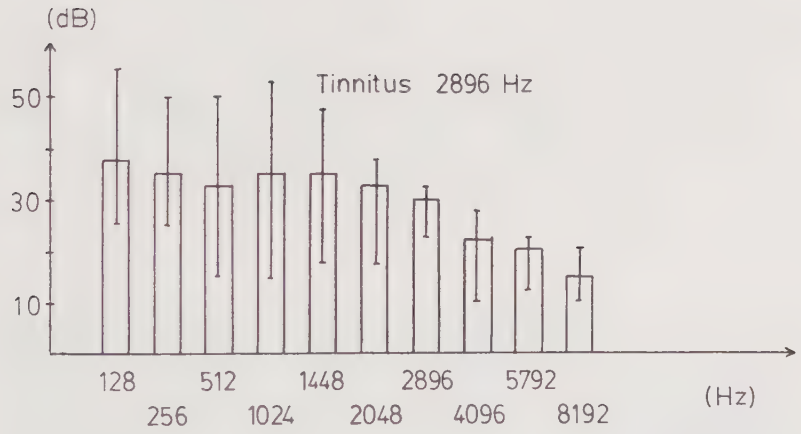

Abb. 59: Histogramm zur Tinnitusverdeckung nach Beschallung mit Verkehrslärm an Hochtonschwerhörigen

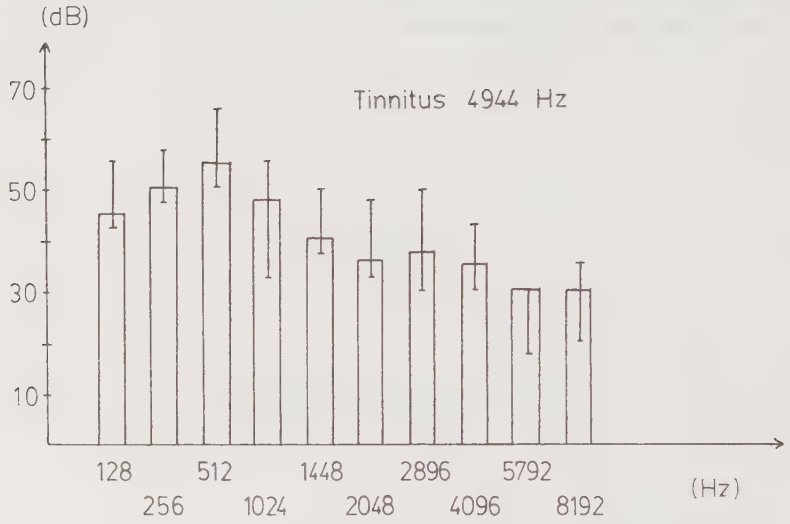

Abb. 60: Histogramm zur Tinnitusverdeckung nach Beschallung mit impulshaltigem Lärm an Hochtonschwerhörigen

Nach Beschallung mit impulshaltigem Lärm liegt die durch Zentralwertbildung ermittelte Tinnitusfrequenz bei Hochtonpatienten 2000 Hz über der bei Normalhörenden (Abb. 61 und 62).

Der Vergleich der Tinnitusverdeckung bei Normalhörenden und den einzelnen Baßschwerhörigen zeigt, daß bei den baßschwerhörigen Probanden im tiefen Frequenzbereich die Verdeckungsintensität (bis 1000 Hz) weit geringer ist als bei Normalhörenden. Das Verhalten im hohen Frequenzbereich wird nicht verglichen, da bei den einzelnen baßschwerhörigen Probanden unterschiedliche Kurvenverläufe vorliegen (Abb. 54 - 56). Während sich bei zwei Probanden in den hohen Frequenzen die Verdeckungsschwelle der Hörschwelle nähert, bleibt der Abstand bei dem dritten Probanden ab 2000 Hz relativ konstant.

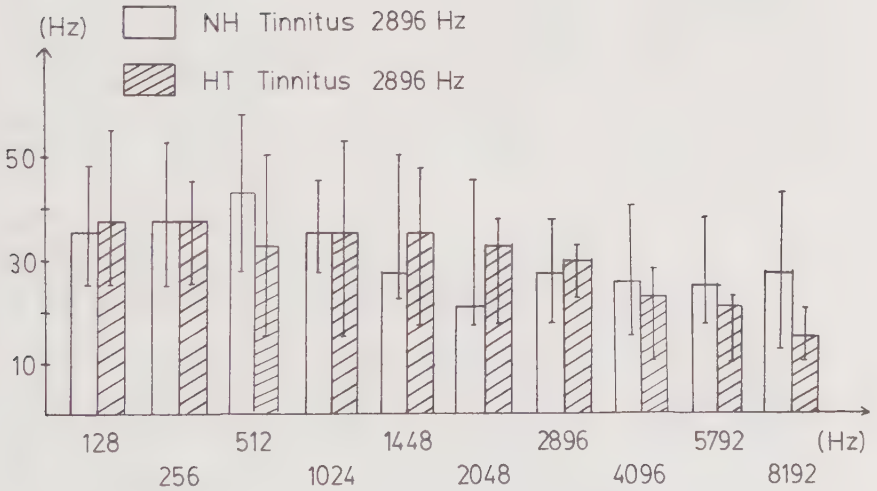

Abb. 61: Tinnitusverdeckung nach Beschallung mit Verkehrslärm an Normalhörenden und Hochtonschwerhörigen

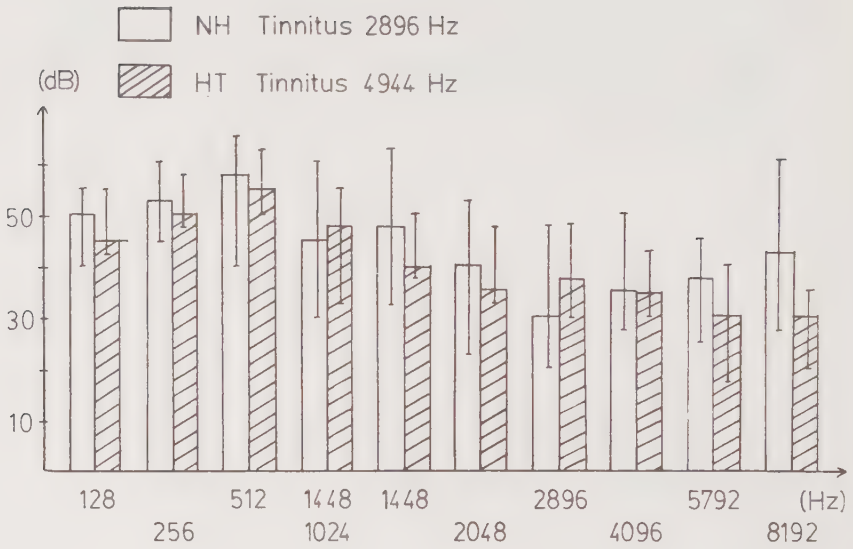

Abb. 62: Tinnitusverdeckung nach Beschallung mit impulshaltigem Lärm an Normalhörenden und Hochtonschwerhörigen

Sowohl bei den normalhörenden als auch bei den untersuchten schwerhörenden Probanden deckt sich das Verdeckungsoptimum nicht immer mit der angegebenen Klangqualität des Tinnitus.

Im Bereich des Hörverlustes sind bei den apicocholeär Schwerhörigen geringere Verdeckungsintensitäten notwendig als bei Normalhörenden.

13.2. Vergleich unserer Untersuchungen mit den Ergebnissen in der Literatur

Ständig vorhandener Tinnitus wird besonders bei Innenohrschwerhörigen beschrieben. Wir fanden bei etwa 45 % der Innenohrschwerhörigen einen ständig vorhandenen Tinnitus. Da diese Arbeit sich nur mit evoziertem Tinnitus beschäftigt, waren diese Patienten von der Untersuchung ausgeschlossen.

ATHERLEY (1968) konnte bei 98 % aller Normalhörenden einen Tinnitus erzeugen. BENTZEN (1953) und ATHERLEY beschrieben nach fünf Minuten Beschallung mit 70 bis 110 dB bei fast allen Probanden das Auftreten eines Tinnitus. Wie OPITZ (1973) konnten wir bei alllen Probanden nach fünf-minütiger Beschallung einen Tinnitus evozieren.

Der Tinnituscharakter wurde von den meisten Probanden als tonal angegeben. Bei den fünf Patienten, die über einen geräuschartigen Tinnitus berichteten, wurden die Tinnitusverdeckungsmessungen nicht durchgeführt. Bei den untersuchten Probanden zeigte sich in der Bestimmung des Tinnitus, der nie unterhalb von 2000 Hz angegeben wurde, eine große Variation. Dies deckt sich mit Beobachtungen von LOEB und SMITH (1967), ATHERLEY (1968) und REED (1960), die meist einen Tinnitus tonalen Charakters zwischen 2000 und 7000 Hz feststellten.
OPITZ (1973) beschreibt, daß die Tinnitusfrequenz abhängig vom Frequenzgehalt des Geräusches ist und oberhalb von dessen Frequenz liegt. Bei impulshaltigem Lärm und Straßenverkehrslärm findet sich bei Normalhörenden trotz des unterschiedlichen Frequenzgehaltes der Geräusche der Tinnitus in gleicher Höhe.

Der von OPITZ (1973) beschriebene Kurvenverlauf bei der Verdeckung des durch Schmalbandrauschen oder GVR erzeugten Tinnitus (Abb. 42 und 43) konnte bei den Experimenten mit Umweltgeräuschen nicht festgestellt werden. Es zeigt sich bei diesen Geräuschen weder ein eindeutiges Optimum noch läßt sich ein stetiger Abfall zu beiden Seiten des Optimums beobachten. Dieser relativ flache Kurvenverlauf ist durch den Geräuschcharakter bedingt. Die Geräusche sind weder dem Ohr angepaßt wie das GVR noch weisen sie

die Flankensteilheit eines Schmalbandrauschens auf. Es läßt sich lediglich feststellen, daß Töne in der Umgebung der Tinnitusfrequenz diesen leichter verdecken als Töne mit größerem Frequenzabstand (Abb. 57 und 58). Dies läßt sich zu den Ergebnissen FOWLERS (1944) korrelieren, der Tinnitus am besten durch Geräusche verdeckte, die im Frequenzgehalt gering unter der Tinnitusfrequenz lagen.

Bei den Einzeldarstellungen zur Tinnitusverdeckung bei Hochtonschwerhörigen konvergieren Hörschwellen- und Verdeckungskurve oberhalb der Tinnitusfrequenz. Der von FELDMANN (1969) beschriebene Konvergenztyp, bei dem allerdings ständig vorhandener Tinnitus verdeckt wird, zeigt einen ähnlichen Kurvenverlauf. Bei zwei Hochtonschwerhörigen ließ sich der evozierte Tinnitus mit der maximal einstellbaren Lautstärkeintensität nicht verdecken. Bei dem hiermit vergleichbaren Persitenztyp von FELDMANN handelt es sich um Hochtonpatienten mit ständig vorhandenem Tinnitus, der nicht verdeckt werden kann.

14. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Reaktion des Hörorgans auf länger anhaltende laute Störschalle zu untersuchen.

Zu diesem Zweck wurden audiometrische Messungen zur Adaptation und zur Tinnitusevozierung an normalen und pathologischen Ohren vorgenommen. Die Experimente wurden an 72 Normalhörenden, 48 Hochtonschwerhörigen, 24 pancochleär Schwerhörigen und 8 Baßschwerhörigen durchgeführt.
Der Adaptationsversuch wurde mit Straßenverkehrslärm und sprachsimulierendem Rauschen, die Tinnitusuntersuchungen nach Belastung mit Straßenverkehrslärm und impulshaltigem Lärm vorgenommen.

Ein steady-state der Adaptation wird nach Ergebnissen von Voruntersuchungen nach zwei Minuten erreicht.

Nach Beschallung mit Straßenverkehrslärm oder sprachsimulierendem Rauschen zeigte sich bei Normalpersonen kein signifikanter Unterschied in der Schwellenabwanderung in Abhängigkeit vom Geräusch.
Bei Hochtonschwerhörigen wurde eine stärkere Änderung der Hörschwelle nach Belastung mit Straßenverkehrslärm als nach sprachsimulierendem Rauschen festgestellt. Sie zeigten eine größere Adaptation als Normalpersonen; Erhöhung der Intensität des Belastungsschalles wird mit stärkerer Hörschwellenabwanderung als bei Normalpersonen beantwortet. Bei beiden Geräuschen und beiden Probandengruppen liegt das Maximum der Adaptation bei 512 Hz.
Bei den Patienten mit pancochleärer Schwerhörigkeit wurde ein ähnliches Adaptationsverhalten wie bei den Hochtonschwerhörigen deutlich. Nur durch Beschallung mit Straßenverkehrslärm wurde bei dieser Patientengruppe eine stärkere Hörschwellenverschiebung hervorgerufen.
Baßschwerhörige Probanden zeigten im Vergleich zu Normalhörenden in den tiefen Frequenzen eine schwächere Adaptation, in den höheren Frequenzen adaptierten die Baßschwerhörigen stärker.
Insgesamt sind zwischen den einzelnen Belastungssituationen und den verglichenen Probandengruppen nur geringe Unterschiede in der Verschiebung der Hörschwelle festzustellen. Pathologisch

veränderte Ohren weisen jedoch durchgehend eine Vergrößerung der Schwellenverschiebung auf.

Bei länger dauernder Belastung mit hohen Schallintensitäten tritt Tinnitus auf; einige Probanden gaben ihn schon bei ein-minütiger Beschallung mit 70 dB an, bei allen Probanden wird durch fünf-minütige Beschallung mit 90 dB ein tonaler Tinnitus über längeren Zeitraum evoziert.

Bei Normalhörenden liegt der Frequenzbereich des Tinnitus für impulshaltigen und Straßenverkehrslärm bei etwa 3000 Hz, in diesem Frequenzbereich ist auch die notwendige Verdeckungsintensität am geringsten. Die größeren Verdeckungspegel sind im tieferen Frequenzbereich zu finden.
Ein Vergleich beider Belastungsgeräusche zeigt größere notwendige Verdeckungspegel für impulshaltigen Lärm als für Straßenverkehrslärm sowohl in der Gruppe der Normalhörenden als auch in der Gruppe der Hochtonschwerhörigen.
Im Unterschied zu den normalhörenden Probanden findet sich der durch impulshaltigen Lärm evozierte Tinnitus bei den basocochleär Hörgeschädigten bei etwa 5000 Hz. Bei beiden Geräuschen sind in den hohen Frequenzen geringere Verdeckungsintensitäten notwendig. Bei den untersuchten Baßschwerhörigen (der Tinnitus lag bei 2000, 3000 und 4000 Hz) werden in den tiefen Frequenzen geringere Verdeckungsintensitäten als bei Normalhörenden benötigt.

Die Kurve der Tinnitusverdeckung scheint einerseits vom Geräusch, andererseits von der Art des Hörverlustes abhängig zu sein.

Auf welche Weise zentrale Neuronenschaltungen bei der Entstehung von Adaptation und Tinnitus beteiligt sind, muß durch weitere psychoakustische und elektrophysiologische Untersuchungen geklärt werden.

15. Literaturverzeichnis

1. ATHERLEY, G.R.C. — 1968. A study of tinnitus induced temporarily by noise. J.A.S.A. 44, 1503

2. BENTZEN, O. — 1953. Investigations on short tones. Universitatsforlaget, Aarhus

3. BERGER, F. — 1960. Paradoxe Lokalisation des Ohrenklingens bei der Ermüdung. Arch.Ohr.-Nas.-Kehlk.-Heilk. 176, 606

4. BYSTRZANOWSKA, T.; FITOWSKI, Z.; SWIESIULSKA, H. — 1971. The effect of age on the auditory fatigue. Otolaryng. Pol. XXV 1.

5. COATS, A.C.; DICKEY, J.R. — 1972. Postmasking recovery of human click action potentials and click loudness. J.A.S.A. 52, 1607

6. DAVIS, H. — 1957. Biophysics and physiology of the inner ear. Physiological Reviews 37, 1

7. EGGERMONT, J.J. — 1973. Analog modelling of cochlear adaptation. Kybernetik 14, 117

8. EGGERMONT, J.J. — 1975. Cochlear adaptation: A theoretical description. Biol. Cybernetics 19, 181

9. ELLIOT, D.; FRASER, W.D. — 1970. zitiert bei Opitz (36)

10. FELDMANN, H. — 1958. Adaptationsmessung durch Verdeckung; Prinzip, Anwendung und klinische Bedeutung eines neuen Verfahrens. Acta Otolaryng. 49, 17

11. FELDMANN, H. — 1969. Untersuchungen zur Verdeckung subjektiver Ohrgeräusche - Ein Beitrag zur Pathophysiologie des Ohrensausens. Zeitschr. Laryng.Rhinol. 48, 528

12. FOWLER, E.P. — 1944. Head noises in normal and disordered ears. Arch. Otolaryng. 39

13. FRASER, W.D.; PETTY, J.W.; ELLIOT, D.N.
1970. Adaptation: central or peripheral? J.A.S.A. 47, 1016

14. GALAMBOS, R.; SCHWARTZKOPF, J.; RUPERT, A.
1959. Microelectrode study of the olivary nuclei. Am. J. Physiol. 197, 527

15. GARDNER, M.B.
1947. Short duration auditory fatigue as a method of classifying hearing impairment. J.A.S.A. 19, 1

16. GAUER, O.H.; KRAMER, K.; JUNG, R.
1972. Physiologie des Menschen, Band 12, Hören, Stimme, Gleichgewicht. Urban und Schwarzenberg, München

17. GRAHAM, J.
1965. Tinnitus aurium. Acta Otolaryng. Suppl. 202

18. GRAHAM, J.T.; NEWBY, H.A.
1962. Acoustical characteristics of tinnitus. Arch. Otolaryng. 75, 162

19. HAHLBROCK, K.-H.
1970. Sprachaudiometrie. Thieme Verlag Stuttgart

20. HELLER, M.F.
1953. Tinnitus aurium in normally hearing persons. Annals of Otology 62, 73

21. HINCHLIFFE, R.
1957. Threshold changes et 4 kc/s produced by bands of noise. Acta Otolaryng. 47, 496

22. HOOD, J.D.
1950. Studies in auditory fatigue and adaptation. Acta Otolaryng. Suppl. 17

23. KEIDEL, W.D.; KEIDEL, O.U.; KIGAND, M.E.
1961. Adaptation: Loss or gain of sensory information? In: Rosenblith: Sensory communication Wiley New York 319

24. KEIDEL, W.D.
1961. Rankes Adaptationstheorie. Z. Biol. 112

25. KEIDEL, W.D.
1975. Physiologie des Gehörs. Thieme Verlag Stuttgart

26. KIANG, N.Y.S.; WATANABE, J.; THOMAS, E.C.; CLARK, L.F.
1965. Discharge patterns of single fibers in the cat's auditory nerve N.J.T. Press Cambridge, Mass.

27. KUNZE, W. 1950. Untersuchungen zur Ermüdungsmessung des Ohres. HNO 2, 3

28. KUPPERMANN, R. 1971. Cochlear masking and adaptation. Acta Otolaryng. (Stockh.) 71, 232

29. KUPPERMANN, R. 1974. The complexity of cochlear adaptation. ORL 35, 178

30. LEHNHARDT, E. 1966. Die c_5-Senke, ihre Deutung auf Grund allgemeingültiger physiologischer Vorstellungen. HNO 14, 45

31. LOEB, M.; SMITH, R.P. 1967. Relation of induced tinnitus to the physical characteristics of the inducing stimuli. J.A.S.A. 42,1, 453

32. LÜSCHER, E.; ZWISLOCKI, J. 1949. Adaptation of the ear to sound stimuli. J.A.S.A. 21,2, 135

33. MEYER ZUM GOTTESBERGE,A. 1956. Über Ohrgeräusche. Archiv für Ohren-, Nasen- und Kehlk.-Heilk. 169, 307

34. NAKAMURA, S. 1964. Some of the basic problems in noise trauma. Nihon Univ. J. Med.

35. NORIS, Ch.; GUTH, P.S.; DAIGNEAULT, E.A. 1977. The site at which peripheral auditory adaptation occurs. Brain Research 123,1, 176

36. OPITZ, H.J. 1973. Untersuchungen zur Entstehung und Maskierung von Tinnitus (Habilitationsschrift, Bonn)

37. REED, G.F. 1960. An audiometric study of two hundred cases of subjective tinnitus. Arch. Otolaryng. 71, 84

38. REED, G.F.; CHRISTIAN, M.A. 1961. A study of the effect of loud sound on tinnitus. Laryngoscope 71, 167

39. SCHAEFER, E. 1959. Der Abklingvorgang beim Ohr nach Geräuschbelastung, Frequenz 13, 10

40. SPOOR, A.; EGGERMONT, J.J. 1974. Action potentials in the cochlea masking, adaptation and recruitment. Audioloty 10,5, 340

41. STEVENS, S.; DAVIS, H. 1960. Hearing. John Wiley and Sons Inc., New York

42. WARD, W.D. 1965. Temporary threshold shifts following monaural and binaural exposure. J.A.S.A. 38,1, 121

43. ZWICKER, E.; FELDTKELLER, R. 1967. Das Ohr als Nachrichten-empfänger. Hirzel, Stuttgart

Herrn Prof.Dr. H.J. Opitz danke ich für die freundliche Überlassung des Arbeitsplatzes und die Stellung des Themas.

Ferner danke ich Herrn Dr. von Wedel, Herrn Effelsberg und den weiteren Mitarbeitern der audiometrischen Abteilung der Hals-Nasen-Ohren Klinik der Universität Bonn.

Lebenslauf

Am 22.12.1953 wurde ich in Solingen als Tochter des Josef Korff und seiner Ehefrau Anneliese, geborene Jasper, geboren.

Von April 1960 bis April 1964 besuchte ich zuerst die Volksschule Weeg, dann die Volksschule Kannenhof in Solingen. Im April 1964 wechselte ich auf das neusprachliche Mädchengymnasium August-Dicke-Schule in Solingen, wo ich im Mai 1972 die Reifeprüfung ablegte.
Nach einem einsemestrigen Studium der Romanistik und Sozialwissenschaften an der Universität Bonn begann ich im SS 1973 mein Medizinstudium, das ich im Mai 1979 mit dem Staatsexamen beendete.

FOTODRUCK J. MAINZ – Telefon: (02 41) 2 73 05
Neupforte 13, Nähe Markt, 5100 Aachen